

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## KINETICKÁ ANALÝZA SIGNÁLŮ Z LABORATOŘE CHŮZE

KINETIC ANALYSIS OF SIGNALS FROM GAIT LABORATORY.

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Veronika Benešová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Veronika Svozilová

BRNO 2019

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Studentka:** Veronika Benešová

**ID:** 195724

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## Kinetická analýza signálů z laboratoře chůze

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte literární rešerši akvizice a použití signálů z laboratoře chůze, zaměřte se na přesnou definici těchto signálů a na jejich interpretaci z hlediska kinetiky. 2) Seznamte se s možnostmi zpracování těchto signálů v prostředí Matlab a navrhnete metodiku základní kinetické analýzy těchto signálů. 3) Vyberte ze skupiny šesti cviků, které během měření prováděli sportovci, jeden a provedte vámi navrženou kinetickou analýzu. Navrhnete metodiku hodnocení získaných výsledků. 4) Provedte kinetickou analýzu u všech šesti naměřených cviků. 5) Navrhnete GUI řešení v prostředí MATLAB a otestujte GUI pro všechny zkoumané signály. 6) Provedte diskusi získaných výsledků a zhodnoťte využitelnost řešení (po závěrečné konzultaci s expertem na signály z laboratoře chůze).

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WHITTLE, Michael W. Gait analysis. In: The Soft Tissues. 1993. p. 187-199.

[2] LEE, Lily; GRIMSON, W. Eric L. Gait analysis for recognition and classification. In: Automatic Face and Gesture Recognition, 2002. Proceedings. Fifth IEEE International Conference on. IEEE, 2002. p. 155-162.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 24.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Veronika Svozilová

**Konzultant:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Analýza chůze má nezastupitelný význam v řadě různých odvětví. Díky systému Vicon, používanému v laboratoři chůze, může být zachycen pohyb jednotlivých částí těla. Úkolem této práce je zpracování datových záznamů z laboratoře chůze a provedení kinetické analýzy v programovacím prostředí Matlab. Hlavním cílem bakalářské práce je porovnání detekovaných hodnot, z markerů na jednotlivých částech dolních končetin, které byly vyhodnoceny kinetickou analýzou dat získaných při provádění cviků testovaných jedinců a vytvoření GUI řešení.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Chůze, krokový cyklus, kinetická analýza, laboratoř chůze, systém Vicon, GUI.

## ABSTRACT

Gait analysis has an irreplaceable meaning in many various fields. Thanks to the Vicon system, which is used in gait laboratory, the movement of individual body parts can be captured. The purpose of this work is to process data records from gait laboratory, and kinetic analysis in Matlab program. The main target of the bachelor thesis is to compare detected values, which were evaluated by kinetic analysis of the data obtained from tested subject during performing the exercise and creating GUI.

## KEYWORDS

Gait, gait cycle, kinetic analysis, gait laboratory, system Vicon, GUI.

BENEŠOVSKÁ, Veronika. *Kinetická analýza signálů z laboratoře chůze*. Brno, 2019, 98 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: Ing. Veronika Svozilová



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Kinetická analýza signálů z laboratoře chůze“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autorky

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucí bakalářské práce paní Ing. Veronice Svozilové za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci a FN Dětské nemocnici Brno za poskytnutí dat.

Brno .....

.....

podpis autorky

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>11</b>
1.1 Chůze . . . . .	11
1.1.1 Krokový cyklus . . . . .	11
1.1.2 Analýza chůze . . . . .	13
1.2 Laboratoř chůze . . . . .	16
<b>2 Praktická část</b>	<b>21</b>
2.1 Zpracování dat . . . . .	21
2.2 Vertikální výskok . . . . .	22
2.3 Stoj na jedné noze . . . . .	33
2.4 Výskok z jedné nohy . . . . .	44
2.5 Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu . . . . .	55
2.6 Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze . . . . .	65
2.7 Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa . . . . .	75
<b>3 GUI řešení</b>	<b>85</b>
<b>4 Diskuze</b>	<b>86</b>
<b>5 Závěr</b>	<b>88</b>
<b>Literatura</b>	<b>89</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>91</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>92</b>
<b>A Hodnoty lokálních maxim silových veličin</b>	<b>93</b>
<b>B Hodnoty lokálních maxim momentů sil</b>	<b>96</b>

# Seznam obrázků

1.1	Krokový cyklus [9]	12
1.2	Laboratoř chůze v Dětské nemocnici FN Brno[5]	16
1.3	Vicon IR kamera[3]	17
1.4	Nevhodné prostředí pro snímání chůze[2]	17
1.5	Různé velikosti značek[14]	18
1.6	Umístění markerů (boční pohled)[1]	19
1.7	Umístění markerů (zadní pohled)[1]	19
1.8	Umístění markerů (přední pohled)[1]	20
2.1	3D záznam z markerů	21
2.2	Vertikální výskok v sagitální (boční) rovině	22
2.3	Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1	23
2.4	Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1	24
2.5	Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1	25
2.6	Silové veličiny cviku: Vertikální výskok	27
2.7	Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1	28
2.8	Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1	29
2.9	Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1	30
2.10	Momenty sil cviku: Vertikální výskok	32
2.11	Stoj na jedné noze	33
2.12	Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1	34
2.13	Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1	35
2.14	Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1	36
2.15	Silové veličiny cviku: Stoj na jedné noze	38
2.16	Ukázka signálu Ankle moment pacienta č. 1	39
2.17	Ukázka signálu Knee moment pacienta č. 1	40
2.18	Ukázka signálu Hip moment pacienta č. 1	41
2.19	Momenty sil cviku: Stoj na jedné noze	43
2.20	Výskok z jedné nohy	44
2.21	Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1	45
2.22	Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1	46
2.23	Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1	47
2.24	Silové veličiny cviku: Výskok z jedné nohy	49
2.25	Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1	50
2.26	Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1	51
2.27	Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1	52
2.28	Momenty sil cviku: Výskok z jedné nohy	53
2.29	Výskok z vyvýšeného místa	55

2.30	Poskok dopředu . . . . .	55
2.31	Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1 . . . . .	56
2.32	Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1 . . . . .	57
2.33	Ukázka signálu Hip Power pacienta č.1 . . . . .	58
2.34	Silové veličiny cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu .	59
2.35	Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1 . . . . .	60
2.36	Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1 . . . . .	61
2.37	Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1 . . . . .	62
2.38	Momenty sil cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu . .	63
2.39	Výskok na jedné noze z vyvýšeného místa . . . . .	65
2.40	Poskok dopředu na jedné noze . . . . .	65
2.41	Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1 . . . . .	66
2.42	Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1 . . . . .	67
2.43	Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1 . . . . .	68
2.44	Silové veličiny cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze . . . . .	69
2.45	Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1 . . . . .	70
2.46	Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1 . . . . .	71
2.47	Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1 . . . . .	72
2.48	Momenty sil cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze . . . . .	74
2.49	Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa . . . . .	75
2.50	Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1 . . . . .	76
2.51	Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1 . . . . .	77
2.52	Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1 . . . . .	78
2.53	Silové veličiny cviku: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa . . . .	79
2.54	Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1 . . . . .	80
2.55	Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1 . . . . .	81
2.56	Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1 . . . . .	82
2.57	Momenty sil cviku: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa . . . . .	83
3.1	GUI řešení . . . . .	85

# Seznam tabulek

1.1	Krokový cyklus . . . . .	12
2.1	Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1 . . . . .	26
2.2	Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1 . . . . .	30
2.3	Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1 . . . . .	36
2.4	Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1 . . . . .	41
2.5	Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1 . . . . .	48
2.6	Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1 . . . . .	52
2.7	Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1 . . . . .	58
2.8	Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1 . . . . .	62
2.9	Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1 . . . . .	68
2.10	Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1 . . . . .	72
2.11	Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1 . . . . .	78
2.12	Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1 . . . . .	82

# Úvod

Analýza chůze má nezastupitelný význam v řadě různých odvětví. S vývojem technologie senzorů a technikami analýzy chůze se stala rozšířeným a užitečným nástrojem jak pro klinickou praxi, tak pro biomechanický výzkum. Může být použita nejen jako klinický nástroj pro předoperační a pooperační vyšetření, ale i pro sportovní trénink a zlepšení výkonu sportovce. Přestože je chůze velmi jednoduchý a periodický pohyb, tak je to velmi specifický úkon, jehož analýza může být využita jako diagnostická metoda.

Kamerový systém Vicon je jedním ze systémů, který se používá v laboratoři chůze a slouží k zachycení pohybu jednotlivých částí těla. Díky markerům připevněným na těle lze komplexně snímat tělo. Markery jsou detekovány, vyhodnoceny a systém dokáže vytvořit trojrozměrný model pohybujícího se objektu.

Kinetika chůze je studium sil a momentů, které vedou k pohybu tělesných segmentů v lidské chůzi. Pro získání komplexní informace o provedení chůze je nutné změření velikosti působících sil. Úkolem této bakalářské práce je zpracování datových záznamů z laboratoře chůze a provedení kinetické analýzy sil ve vybraném programovacím jazyce.

Z části databáze Dětské nemocnice FN Brno bylo vybráno pět pacientů. Všechny testované osoby jsou vrcholoví sportovci bez vážnějších onemocnění. Jejich úkolem bylo provést co nejlépe šest předem vysvětlených cviků několikrát za sebou. Cviky byly zvoleny lehké, jako je například stoj na jedné noze, ale i náročnější na rovnováhu (např. výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze). Z jednotlivých pokusů bylo vybráno od každého pacienta pět nejpřesnějších provedení každého cviku. Data z měření jsou pak dále použita k analýze.

Hlavním motivem bakalářské práce je vyhodnocení surových dat kamerového systému Vicon. Prvním krokem je provedení kinetické analýzy všech prováděných cviků a její vyhodnocení. Analýza je provedena pomocí různých funkcí sloužících k detekci lokálních extrémů. Posledním bodem je vytvoření GUI řešení v prostředí MATLAB a jeho otestování pro všechny zkoumané signály.

# 1 Teoretická část

Teoretická část se bude zabývat chůzí jako takovou, krokovým cyklem a jeho kinetickou analýzou. Dále pak laboratoří Dětské Fakultní nemocnice v Brně, kde byla získána data pro tuto práci.

## 1.1 Chůze

Chůze je základním lokomočním stereotypem člověka, který je vykonáván od raného dětství. Vnímáme ji jako jednoduchý a základní pohyb, který je prováděn periodicky, nevědomě a většinou bez větších obtíží.

Chůze je kontrolovaný způsob přesunu těla z jednoho místa na druhé ve vzpřímené poloze, kdy střídá jedna dolní končetina druhou s podmínkou, že minimálně jedna zůstává v kontaktu s podložkou. Abychom mohli daný pohyb nazvat chůzí, nesmí dojít k letové fázi, kdy není v kontaktu s podložkou ani jedna z končetin a zároveň musí docházet ke střídavým cyklickým výměnám. Specifická definice popisuje chůzi jako kontrolovaný pád ze stabilní pozice, kterou zajišťuje stojná dolní končetina, na druhostrannou dolní končetinu.

Předvedení chůze je odlišné a jedinečné pro každého jedince. Tato rozdílnost je určena mnoha faktory, které dělíme na vnitřní faktory (zdravotní stav, psychické zdraví a antropometrické parametry osoby) a vnější faktory (povrch, obuv). [4]

Existují čtyři základní podmínky, které jsou nezbytné pro uskutečnění chůze: udržení vzpřímené a stabilní postury, střídavá opora oběma dolními končetinami pro přenos hmotnosti těla, koordinovaný pohyb dolních končetin ve švihové fázi pro možnost plynulého kontaktu chodidla s podložkou, přítomnost odpovídající svalové síly pro pohyb těla vpřed. Pro splnění těchto požadavků musí být splněny interní podmínky, jako je přítomnost intaktní svalové tkáně, funkční klouby, svalová síla, možnost zpětné informace, atd. Při nesplnění jediné z uvedených podmínek se stává chůze patologickou, jelikož se tento nedostatek projeví v jejím předvedení. Jedinec musí vynaložit více energie pro provedení chůze a stává se tak náročnou činností. [6]

Chůze člověka se skládá z jednotlivých kroků, které mají jednotlivé fáze tvořící krokový cyklus.

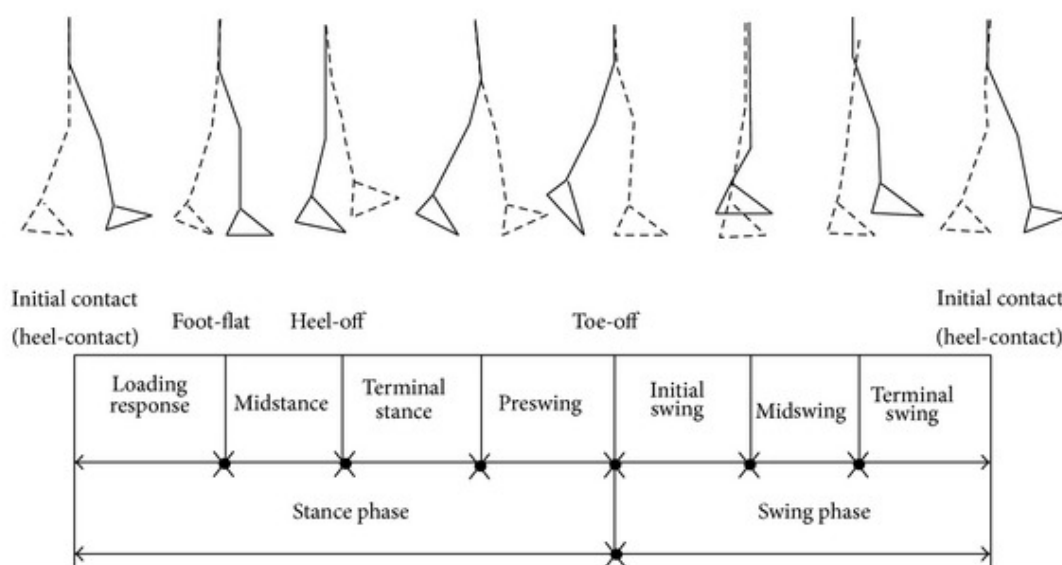
### 1.1.1 Krokový cyklus

Chůze je pohybová činnost skládající se z jednotlivých částí, které se opakují. Základní jednotkou tohoto cyklického pohybu je krokový cyklus začínající kontaktem paty s podložkou a končící dalším kontaktem stejné části těla stejné dolní končetiny.



Krokový cyklus dělíme na dvě hlavní fáze. První je stojná fáze, kde se dolní končetina dotýká podložky a tvoří zhruba 38 % cyklu. Zajišťuje stabilitu pohybu a vznik druhé fáze, která se nazývá švihová. Tato část krokového cyklu probíhá zdvihnutím chodidla od podložky a pokračuje švihovým pohybem při kterém se provede přesunutí nohy před stojnou dolní končetinu. Švihová část tvoří zhruba 62 % cyklu. [10]

Celkem můžeme dělit krokový cyklus na osm částí, kde jich pět patří do stojné fáze a tři do švihové fáze. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé fáze krokového cyklu.



Obr. 1.1: Krokový cyklus [9]

		Část cyklu
Stojná fáze	Počáteční kontakt (initial contact)	2 %
	Postupné zatěžování (loading response)	10 %
	Mezistoj (midstance)	20 %
	Konečný stoj (terminal stance)	20 %
	Předšvih (preswing)	10 %
Švihová fáze	Počáteční švih (initial swing)	13 %
	Mezišvih (midswing)	14 %
	Konečný švih (terminal swing)	11 %

Tab. 1.1: Krokový cyklus

Stojnou fázi zahajuje počáteční kontakt, který zahrnuje okamžik dotyku dolní končetiny s podložkou. V druhé fázi se tělesná hmotnost přenáší na přední končetinu, důsledkem použití paty jako kolébky se ohýbá koleno kvůli absorpci nárazů. Postupné zatěžování začíná dotykem s podložkou a končí dokud se opačná končetina nezdvihne.

Mezistoj je první částí fáze podpory jedné nohy začínající odrazem palce protější nohy a dopadem paty stejnostranné končetiny. Pro správné předsunutí končetiny před zafixované chodidlo je důležité zhoupnutí v hlezenním kloubu, jenž právě tento pohyb umožňuje.

Konečný stoj kompletuje fázi podpory jedné nohy. Začíná zvednutím paty stojné končetiny a pokračuje do okamžiku, kdy se druhostranná pata dostane do kontaktu s podložkou.

Poslední částí stojné fáze je předšvih počínající dotykem plosky kontralaterální končetiny a dochází zde ke dvojité opoře. Fáze končí v okamžiku, kdy palec opustí podložku.

Počáteční švih zahajuje švihovou fázi krokového cyklu a skládá se ze zvednutí plosky z podlahy a opření končetiny nacházející se ve švihu o patu. Mezišvih začíná, když končetina ve švihu je za opačnou nohou nacházející se v pozdním mezistoji. V případě, že je výkyvná končetina před druhou a hlezenní kloub je vertikální poloze, pak tato fáze končí.

Závěrečnou fázi švihu tvoří konečný švih, během kterého se končetina připravuje na kontakt s podložkou. Druhostranná končetina je ve fázi konečného stoje. [10]

### **1.1.2 Analýza chůze**

Veškeré měření vychází z fyzikálních zákonů, naše zaměření nejlépe popisuje obor mechaniky tuhých těles, který se dále dělí na statiku a dynamiku. Statika se zabývá hmotnými tělesy v relativním klidu vzhledem ke vztažné soustavě a dynamika navíc bere do úvahy pohyb hmotného tělesa. Zajímáme se tedy o dynamiku, jenž můžeme rozdělit ještě na kinematiku popisující pohyb a kinetiku hledající silové souvislosti pohybu. V této práci se budeme zajímat pouze kinetickou analýzou chůze.

#### **Kinetická analýza chůze**

Kinetika chůze je studium sil a momentů, které vedou k pohybu tělesných segmentů v lidské chůzi, včetně měření GRF (Síla reakce podložky – Ground reaction force) a kinetické analýzy. Pro provedení jakéhokoli pohybu vč. chůze je nezbytně nutné silové působení odpovídající velikosti a směru. Pro získání komplexní informace o provedení chůze je nutné změření velikosti působících sil. [11]

Kinetická analýza pohybu zahrnuje složky, díky kterým vzniká pohyb. Mezi tyto složky patří gravitační síla, setrvačnost, reakce kloubů, reakční síla podložky, reakce svalů a dalších struktur těla.

Reakční síla podložky je stejné velikosti a opačná ke směru působení síly, kterou tělo působí na podložku nohou.

Při chůzi působí dolní končetina silou na podložku, po kterém se pohyb realizuje. Dle třetího Newtonova zákona vzniká reakční síla opačně orientovaná, která působí na lidské tělo. Výslednou sílu můžeme dělit na tři složky: vertikální, anteroposteriorní a mediolaterální. Vertikální složka dosahuje nejvyšších hodnot v průběhu oporové fáze, je charakteristická dvěma vrcholy. První maximum je zhruba v 20 % stejné fáze a druhé zhruba v 80 %, od tohoto vrcholu hodnota vertikální složky postupně klesá až do ukončení kontaktu s podložkou. Velikost anteroposteriorní složky určuje zatížení chodidla v brzdící a zrychlující fázi kontaktu dolní končetiny s podložkou. Je pro ni typická různorodost, proto se těžko využívá při analýze chůze. [6]

Pro určení otáčivého účinku působící síly je nutné znát velikost momentu síly. Můžeme se pohybovat jen díky svalům, jejichž pohyb produkuje momenty sil v našich kloubech.

### **Aplikace analýzy chůze**

S vývojem technologie senzorů a technikami analýzy chůze se analýza chůze pomocí nositelných senzorů stala rozšířeným a užitečným nástrojem jak pro klinickou praxi, tak pro biomechanický výzkum.

Pomocí malých a nízkoenergetických senzorů lze analýzu chůze využít v oblasti sportu, rehabilitace a klinické diagnostiky.

Ve sportu může být analýza chůze založená na nositelných senzorech použita pro sportovní trénink a pro zlepšení výkonu sportovce. Chybný pohyb sportovce může být rozpoznán a dále korigován pomocí ambulantní analýzy chůze, což může vést ke zlepšení výkonu. Analýza chůze je běžně používána v různých sportovních odvětvích, včetně golfu, běhu, tréninku baseballu a mnoha dalších. Kombinací analýzy chůze a sportovního tréninku se může účinně zabránit mnoha zraněním před nadměrným zatěžováním částí těla nebo jeho nesprávným držením a pohybem.[15]

Aplikace analýzy chůze v rehabilitaci byla široce studována a realizována v řadě nemocnic a zdravotnických center. Je účinným klinickým nástrojem pro plánování léčby a hodnocení výsledků.

Jako klinický nástroj je pohybová analýza dolních končetin během chůze aplikována v předoperačním a pooperačním vyšetření pro pacienty s mozkovou obrnou a může ovlivnit operační postup. Poskytuje také kvantitativní popis cyklu chůze,

který doplňuje a rozšiřuje standardní pozorovací analýzu. Výsledky pomáhají během zákroků k určení, zda je určitý způsob léčby vhodný pro pacienta.

Pro osoby s neurologickými stavy, jako je Parkinsonova choroba a mozková mrtvice, je analýza chůze důležitým krokem v procesu zotavení. Parkinsonova nemoc je obvykle charakterizována motorickými dysfunkcemi, jako jsou třes, zpomalení pohybu, potíže s pohybem a rigidita končetin. Proto byla chůze ověřena jako jeden z nejspolehlivějších diagnostických příznaků této nemoci. Studie týkající se použití analýzy chůze jako alternativního zjištění o závažnosti Parkinsonovy nemoci se proto zvyšují. Při rehabilitaci pacientů s cévní mozkovou příhodou hraje důležitou roli také analýza chůze pomocí nositelných senzorů. Při identifikaci parametrů chronické chůze osob po mrtvici je aplikována ambulantní chůze, aby bylo možné posoudit funkční využití postižených dolních končetin jako součást zpětnovazebního chování. [8]

V oblasti kloubní artroplastiky lze klinické a pomocné údaje získat pomocí analýzy chůze založené na nositelných čidlech. Taková data mohou být použita k vyhodnocení průběhu pacienta před a po artroplastice kyčle nebo kolena.

V klinické diagnostice pacientů s Parkinsonovou chorobou nebo chorobou osteoartrózy kolen je obvykle nutný ambulantní odhad pohybu dolních končetin v chůzi. Na základě výsledků odhadů dolních končetin lze určit nemoc, její závažnost a lékaři mohou stanovit pro pacienty vhodný léčebný režim.

## 1.2 Laboratoř chůze

Pro snímání našich dat byl použit systém Vicon v laboratoři FN Brno. Řadí se mezi jednu z optických metod sloužící k záznamu pohybu lidí, zvířat, či jiných objektů. Pro dosažení co nejlepší kvality byla data snímána v laboratorních podmínkách a při konstantním osvětlení.

Princip spočívá ve vhodném rozmístění soustavy kamer, které snímají konkrétní objekt z několika různých úhlů. Tyto kamery jsou na sebe navázány a spolu se zdrojem světla okolo objektivů (stroboskopy) vyzařují infračervené světlo, které odráží markery. Můžeme pak dále pracovat s naměřenými body a vytvářet 3D animace, nebo grafy ve 2D. Cílem metody je přesný záznam pohybu pro další výpočty.



Obr. 1.2: Laboratoř chůze v Dětské nemocnici FN Brno[5]

Základním principem je správné rozmístění kamer tak, aby každý bod který chceme zobrazovat, byl snímán z různých úhlů a pomáhal tak vytvořit model člověka definovaný markery ve 3D prostoru.



Obr. 1.3: Vicon IR kamera[3]

## **Záznam chůze**

### **Výběr prostředí**

Prvním a tím nejdůležitějším parametrem pro záznam chůze je vhodné prostředí pro měření. Ideálním prostorem jsou laboratorní podmínky s konstantním osvětlením. Důležitým faktorem je také pozadí, kde probíhá snímání objektu kamerami. Nevhodné jsou různobarevné nápisy, plakáty a podobné obvyklé zázemí běžných místností. Naopak vyhovující jsou tmavé místnosti s homogenním prostředím. Tyto podmínky jsou často nesplněné, kvůli vysoké finanční náročnosti na vytvoření specializované laboratoře určené pouze na záznam chůze.



Obr. 1.4: Nevhodné prostředí pro snímání chůze[2]

## Umístění kamer

Každý bod v prostoru, jenž chceme snímat, musí být zachycen alespoň dvojicí kamer. Zároveň by měly optické osy jednotlivých kamer optimálně svírat pravý úhel. Posledním z důležitých požadavků je ten, že žádná z kamer nesmí být umístěna tak, aby ve svém zorném poli měla zdroj infračerveného záření. Musíme tedy kamery vhodně umístit, aby byl objekt správně snímán. Většina laboratoří využívá osmi kamer Vicon.

## Synchronizace kamer

Synchronizace kamer je nezbytnou součástí každého spuštění systému. Skládá se z kalibrace systému a vymezení snímaného prostoru před kamerami. Musí se docílit toho, aby každý požadovaný bod snímaly nejméně dvě kamery. Díky tomuto získáme rovinné souřadnice daného bodu v určitém čase.

V případě, že po synchronizaci kamer chceme změnit polohu jedné z nich, nelze začít měření bez opětovné kalibrace celého systému.

## Umístění značek

Tělo se při každém měření snímá z předem definovaných částí dolních končetin na které se musí umístit reflexní značky. Je k dispozici hned několik velikostí (1,5 - 700 mm) značek, které se vybírají podle typu vyšetření a predispozicí zkoumané osoby (výška, váha, obvod kolene, obvod kotníku).

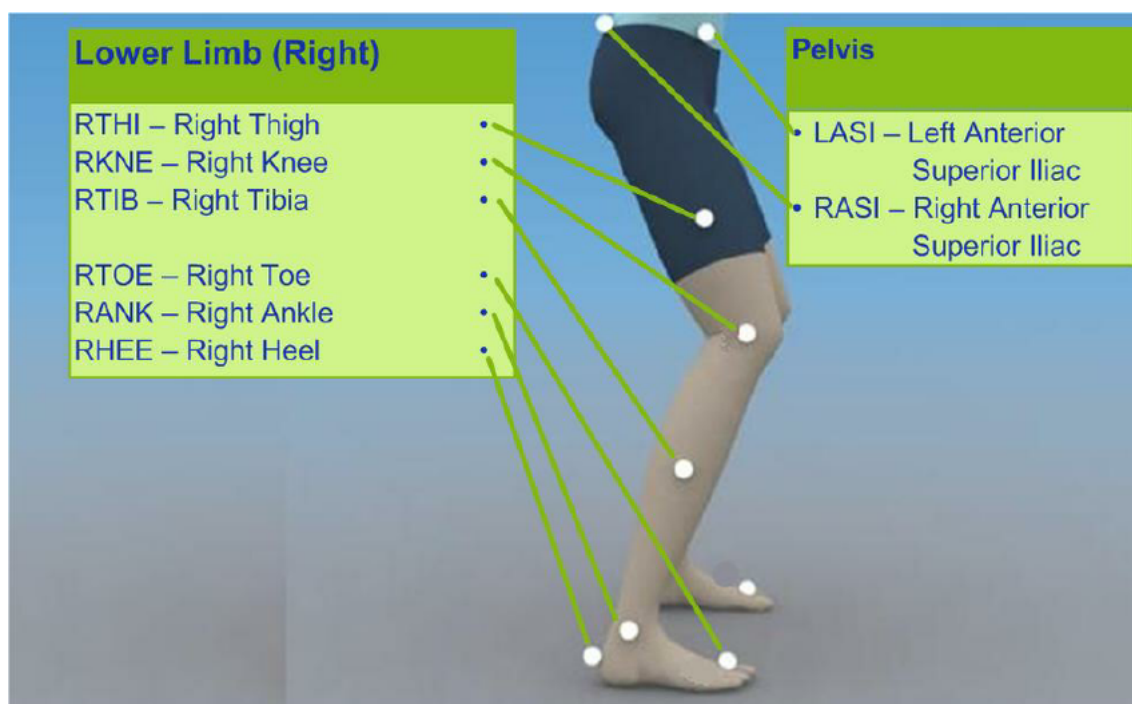


Obr. 1.5: Různé velikosti značek[14]

Existují dva modely popisující rozmístění markerů po těle. První určuje značky pro zaznamenání pohybu celého těla a druhý pohybu dolních končetin včetně pánve. V našem případě používáme model PlugInGate. Boční, zadní a přední pohled zaznamenávají následující obrázky.

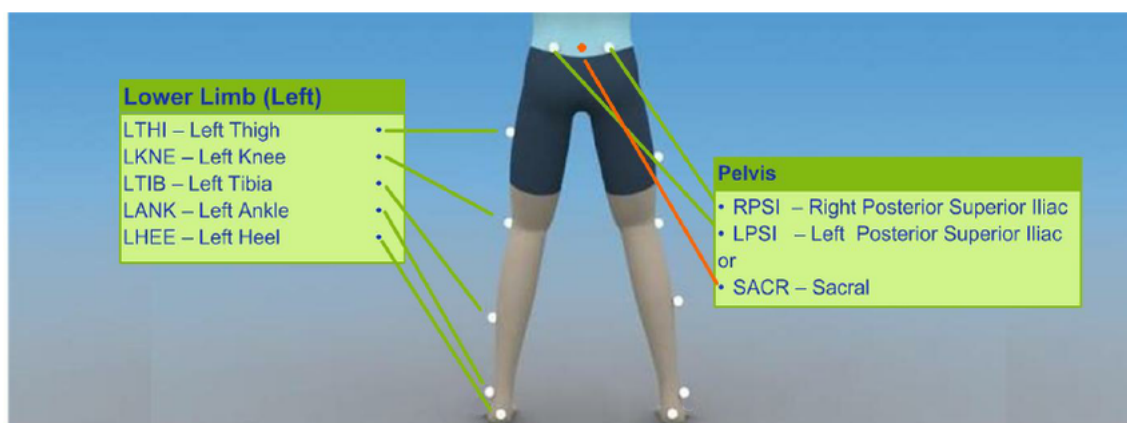


První z obrázků popisuje umístění markerů v sagitální rovině (boční rovině).



Obr. 1.6: Umístění markerů (boční pohled)[1]

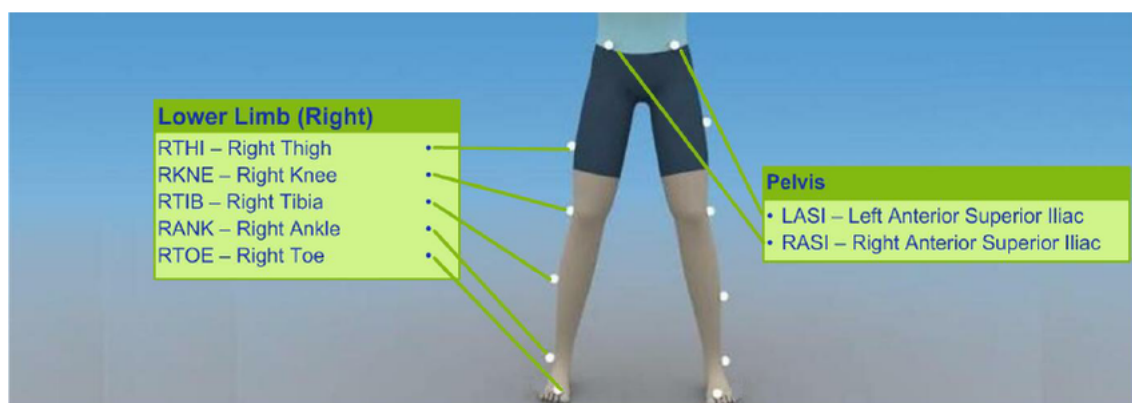
Druhý z obrázků popisuje zadní pohled umístění markerů.



Obr. 1.7: Umístění markerů (zadní pohled)[1]



Třetí z obrázků popisuje umístění markerů v ve frontální rovině (přední rovině).



Obr. 1.8: Umístění markerů (přední pohled)[1]

## 2 Praktická část

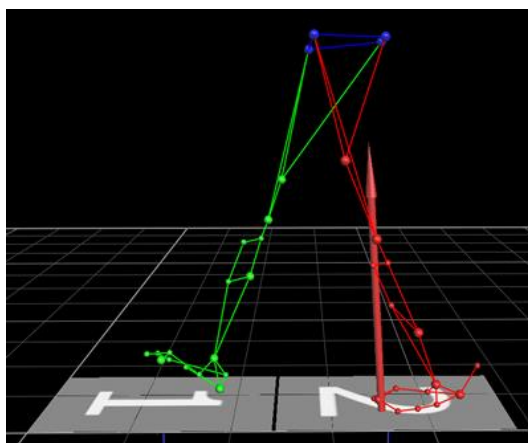
Praktická část práce se zabývá kinetickou analýzou dat z laboratoře chůze Dětské nemocnice FN Brno.

### 2.1 Zpracování dat

Data pochází z databáze laboratoře chůze Dětské nemocnice FN Brno. V testované skupině jsou dívky ve věku okolo 14 let bez těžších zdravotních komplikací. Pacientky se velmi aktivně (vrcholově) věnují basketbalu. Testovaná skupina obsahovala 5 pacientů a u každého z nich se jednalo o pět měření (trialů). Každá testovaná dívka prováděla šest jednoduchých cviků.

V laboratoři chůze se snímá scéna osmi kamerami, které jsou navzájem synchronizované. Tímto získáme záznamy markerů ve 3D. Ve chvíli, kdy snímají marker alespoň dvě kamery, dochází ke „skládání“ rovinných souřadnic. Po transformaci se vytváří prostorové souřadnice bodu, které se ukládají v čase a můžeme je později zobrazit ve 3D zobrazení.

Systém Vicon poskytuje data ve formě soustavy souřadnic ve formě C3D (koordinované 3D zobrazení – Coordinate 3D), který doplňují hodnoty kinetiky chodidla z tlakové plošiny. Formát souboru C3D je flexibilní binární soubor obsahující data z jedné zkušební verze dat (z jednoho trialu). C3D formát znamená koordinovaný 3D záznam skládající se z binárních dat obsahující surová data. Součástí tohoto formátu jsou parametry, které dávají datům popis a funkci. Pro zpracování C3D dat byla použita funkce C3D2MAT, která převedla původní formát do mat souboru.



Obr. 2.1: 3D záznam z markerů

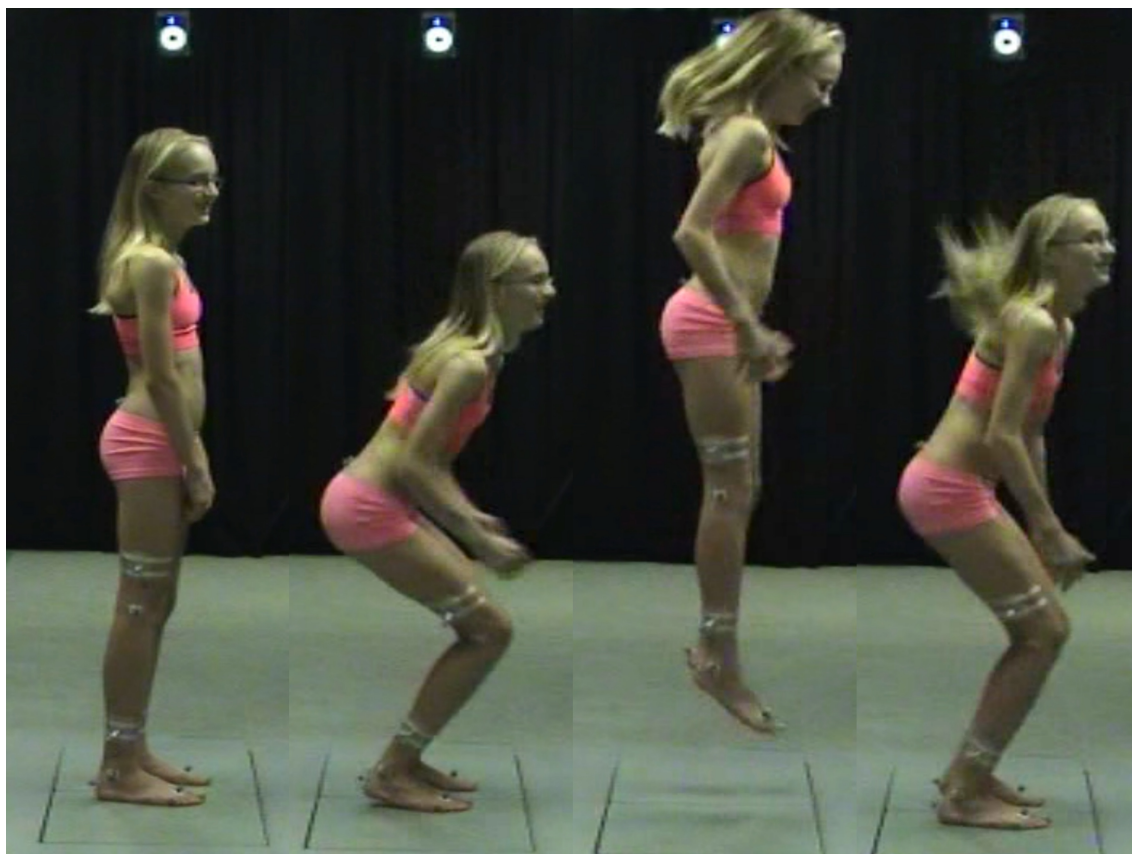
[13]

## 2.2 Vertikální výskok

Prvním cvikem, který pacientky prováděly, byl vertikální výskok. Pro hráčky basketbalu je důležitý, jelikož potřebují co nejvyšší výskok do výšky, nicméně důležité je i provedení, jenž u spousty z nich není precizní.

Samotný cvik je prováděn z polohy rozkročného stoje a pokračuje do rozkročného podřepu, kdy se koncentruje váha celého těla na plosky nohou nad kterými se nachází hýždě. Kotníky a ramena by se měly nacházet v jedné ose a zároveň se nesmí dostat kolena před palce dolní končetiny. Pokračuje se maximálním výskokem nad podložku a následuje dopad ideálně do identického podřepu, ze kterého byl proveden výskok. Cvik končí opět v rozkročném stoji.

Na následujícím obrázku lze vidět jednotlivé polohy cviku prováděné pacientkou v sagitální rovině.



Obr. 2.2: Vertikální výskok v sagitální (boční) rovině

### Kinetická analýza cviku

Tato kapitola se zabývá analýzou silových veličin a momentů sil. Každá z těchto veličin byla zkoumána pro jednotlivé části dolní končetiny (kotník, koleno, kyčel), zvlášť pro levou i pravou nohu a v předem určené ose (x, y, z).

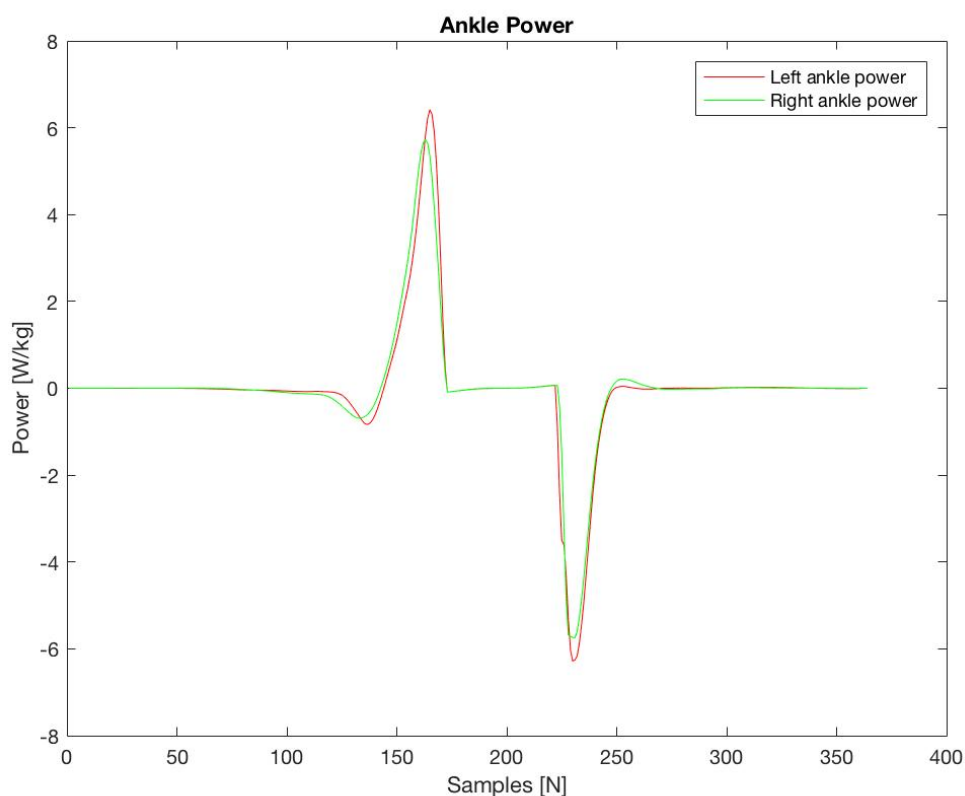
## Analýza silových veličin

Tato analýza byla prováděna ve vertikále (pohyb nahoru a dolů). Dělíme ji na tři části dle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel (dále ankle power, knee power a hip power).

### Ankle power

Analýza ankle power byla prováděna za pomoci funkce *AnklePower*, kde je hlavním úkolem vyhledání minima v první polovině trialu a maxima v druhé polovině trialu. V případě, že je signál posunutý, je vhodně upravená, aby správně detekovala lokální extrémy v jednotlivých částech signálu.

V následujícím grafu je vykreslený ankle power pro levou a pravou nohu- osa x je navzorkovaný čas a osa y je síla (power) v jednotkách W/kg. Dále díky funkci byly vypsány lokální extrémy, které v tomto konkrétním případě jsou: 6,4153 W/kg (hodnota odpovídající odrazu) a -6,2858 W/kg (hodnota odpovídající dopadu) pro levou dolní končetinu a pro pravou dolní končetinu 5,7268 W/kg a -5,7481 W/kg.

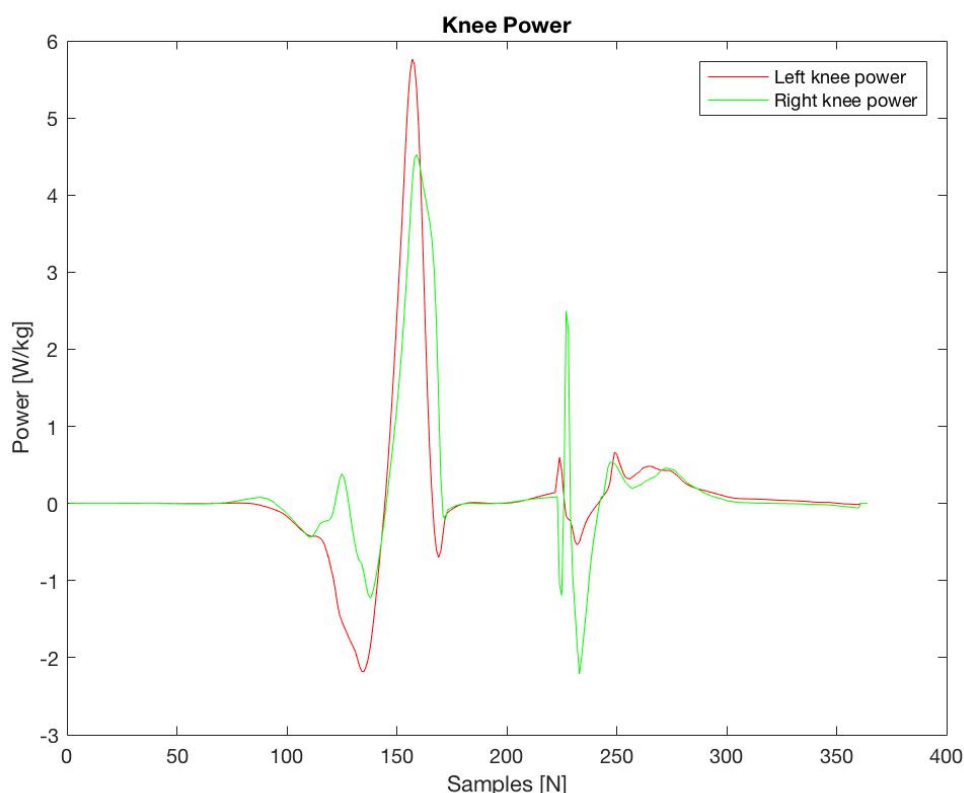


Obr. 2.3: Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1

## Knee power

Analýza knee power probíhala podobně jako analýza ankle power, ale byla použita funkce *KneePower*, která detekuje lokální extrémy, v tomto případě dvě maxima ve specifických částech signálu. První maximum odpovídá odrazu a druhé dopadu.

V následujícím grafu je vykreslena veličina knee power pro každou dolní končetinu. Lokální extrémy z tohoto signálu jsou 5,7634 W/kg (první maximum) a 0,6001 W/kg (druhé maximum) pro levé koleno a 4,5241 W/kg a 2,4987 W/kg pro pravé koleno.



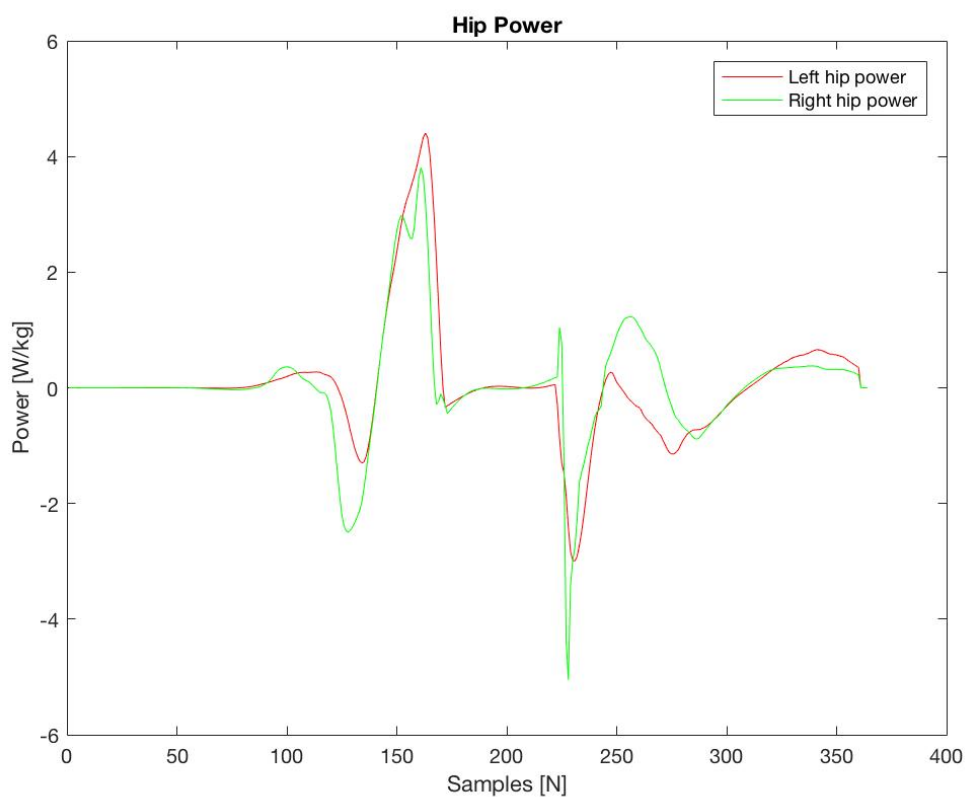
Obr. 2.4: Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1

## Hip power

Detekce lokálních extrémů hip power byla provedena pomocí funkce *HipPower*, kde musel být signál lépe rozčleněn, jelikož nebyl vždy čistý, kvůli nepřesnému provedení cviku (nežádoucí pohyb pacienta). Funkce vyhledávala lokální extrémy, konkrétně dvě maxima v určitých částech signálu.

Následující graf zobrazuje konkrétní případ vykreslení hip power pro levou i pravou dolní končetinu. První maximum odpovídající odrazu má hodnotu pro levou

nohu 4,4052 W/kg a pro pravou nohu 3,8041. Druhé maximum odpovídající dopadu má hodnotu pro levou nohu 0,0187 W/kg a pro pravou nohu 1,0425 W/kg.



Obr. 2.5: Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1

Analýza popsaná na předcházejících stranách byla aplikována na všechna data z pěti měření od každého pacienta. Následující tabulka obsahuje hodnoty a průměrné hodnoty silových veličin pacienta č. 1.

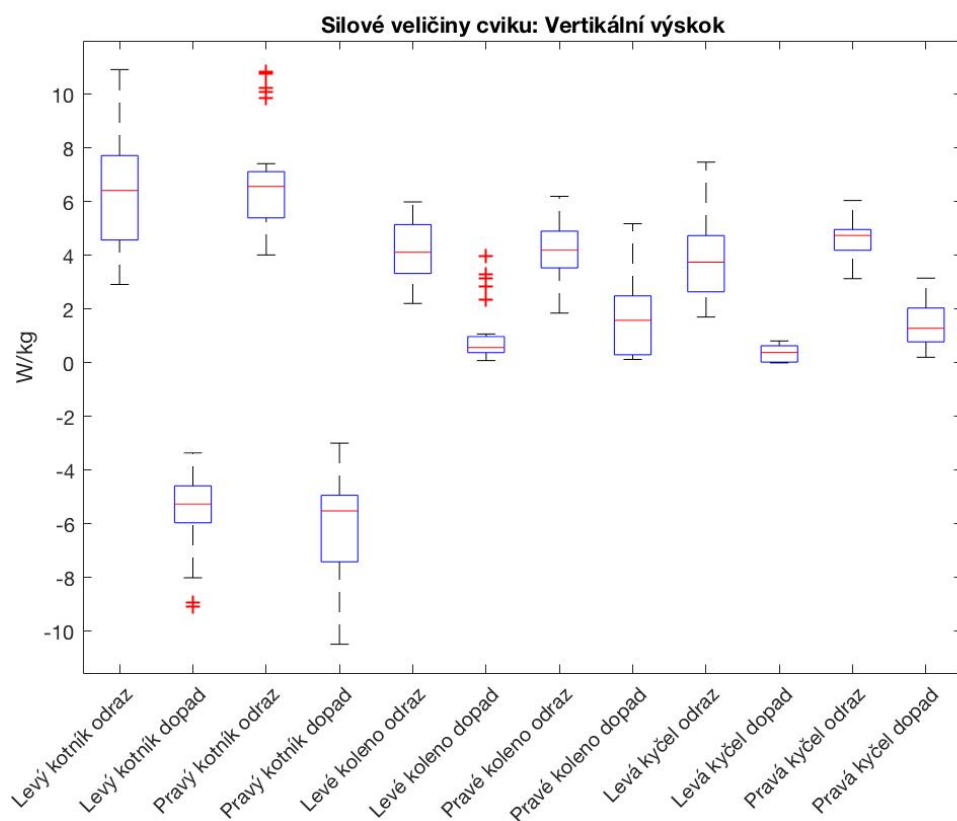
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRÁVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	6.4153	-6.2858	5.7268	-5.7481	5.7634	0.6001
1	2	7.1932	-5.8593	7.0225	-4.7444	2.2063	0.3884
1	3	6.1272	-5.4012	5.1172	-5.4109	4.3604	0.5445
1	4	7.6919	-6.8871	6.5676	-4.9494	4.1143	0.4413
1	5	7.1387	-4.5986	6.9205	-5.167	3.3657	0.1959
PRŮMĚR		6.91326	-5.8064	6.27092	-5.20396	3.96202	0.43404
		PRÁVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRÁVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	4.5241	2.4987	4.4052	0.0187	3.8041	1.0425
1	2	4.3341	2.0424	7.4733	0.026	5.2855	0.3985
1	3	4.7931	0.9518	5.9795	0.5667	4.5974	0.7807
1	4	4.1378	2.4371	6.7472	0.037	4.91	1.4607
1	5	4.5827	3.0949	5.2434	0.1555	4.5273	2.1604
PRŮMĚR		4.47436	2.20498	5.96972	0.16078	4.62486	1.16856

Tab. 2.1: Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1

Průměrná hodnota vykazuje vyšší číslo odrazu u levého kotníku (6,91326 W/kg) než u pravého kotníku (6,27092 W/kg). Stejně tak tomu je u dopadu levého (-5,8064 W/kg) a pravého (-5,20396 W/kg) kotníku. Naopak tomu je u odrazu i dopadu kolena, kde jsou vyšší hodnoty u pravého (4,47436 W/kg odraz a 2,20498 W/kg dopad) a nižší u levého (3,96202 W/kg odraz a 0,43404 W/kg dopad) kolena. Hip power má podobně jako ankle power vyšší čísla u levé dolní končetiny (5,96972 W/kg odraz a 0,16078 W/kg dopad) než u pravé dolní končetiny (4,62486 W/kg odraz a 1,16856 W/kg dopad).

Největší rozdíly jsou u odrazu i dopadu kolen, kde jsou hodnoty pravé nohy výrazně vyšší než levé nohy. Další výrazný rozdíl je i při dopadu kyčlí. Nerovnoměrné zatížení těla může vést k přetížení částí končetin. V případě opakovaného špatného provádění cviku a jiného pohybu pacienta č.1 může vzniknout, jako důsledek přetížení, zranění pohybového aparátu.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Velikost mediánu u odrazu levého kotníku je 6,4153 W/kg a u pravého kotníku 6,5676 W/kg. Medián hodnot dopadu levého a pravého kotníku je -5,2643 W/kg a -5,5230 W/kg. U kolene je hodnota mediánu při odrazu 4,1143 W/kg (levá noha) a 4,1917 W/kg (pravá noha) a při dopadu 0,5649 W/kg (levá noha) a 1,5804 W/kg (pravá noha). Hodnota mediánu u kyčle je při odrazu 3,7460 W/kg (levá kyčel) a 4,7397 W/kg (pravá kyčel) a při dopadu 0,3798 W/kg (levá kyčel) a 1,2826 W/kg (pravá kyčel).



Obr. 2.6: Silové veličiny cviku: Vertikální výskok

Největší rozpětí hodnot je u odrazu levého kotníku a nejvíce odlehlých hodnot je u dopadu levého kolene. Největší rozdíl hodnoty mediánu mezi jednotlivými dolními končetinami je u dopadu kolen, kde je vyšší hodnota u levé dolní končetiny. Velký rozdíl hodnot mediánu je také u odrazu i dopadu kyčlí, kde je vyšší číslo u pravé nohy.

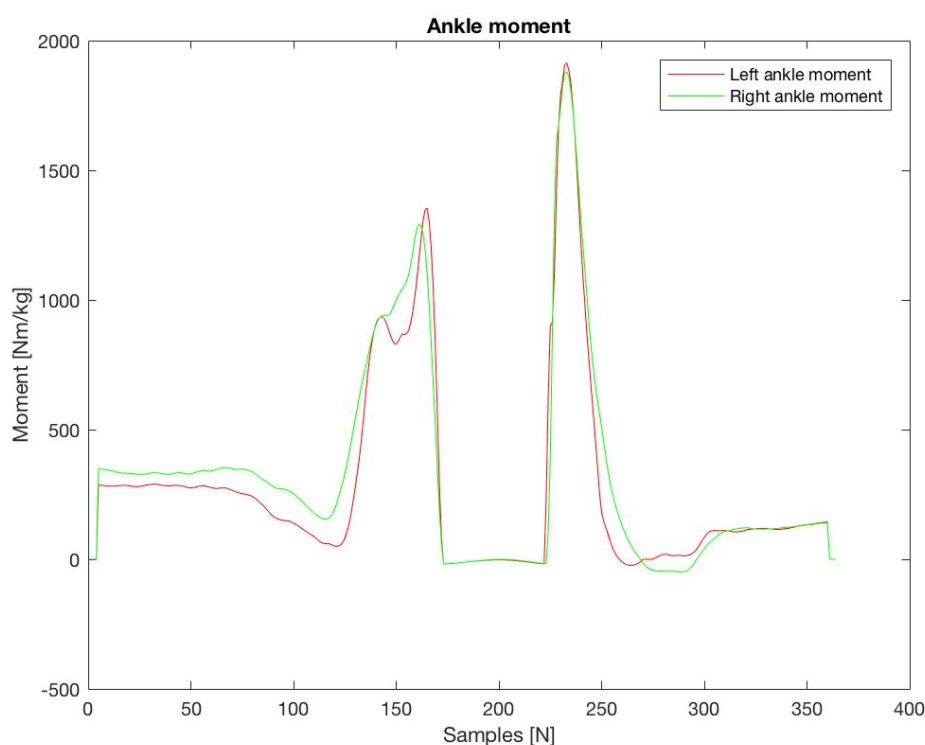


## Analýza momentů sil

Analýza momentů sil byla prováděna v ose x pomocí vybraného programového prostředí- Matlab2017. Analýzu dělíme na tři části dle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel (dále ankle moment, knee moment, hip moment).

### Ankle moment

Důležitými částmi signálu pro detekci jsou dva lokální extrémy, které odpovídají momentu síly odrazu a dopadu. Signál musí být nejdříve vhodně rozdělen na určité části a až poté následuje vyhledání maximálních hodnot v jednotlivých úsecích. Tyto kroky jsou prováděny pomocí funkce *AnkleMoment*. Následující graf zobrazuje ankle moment pro pravou i levou dolní končetinu. Osa x je navzorkovaný čas a osa y je moment síly v jednotkách Nm/kg. Díky funkci byly vypsány lokální extrémy, které v tomto případě jsou: 1354,2 Nm/kg a 1914,5 Nm/kg pro levý kotník, 1293,2 Nm/kg a 1880,4 Nm/kg pro pravý kotník.



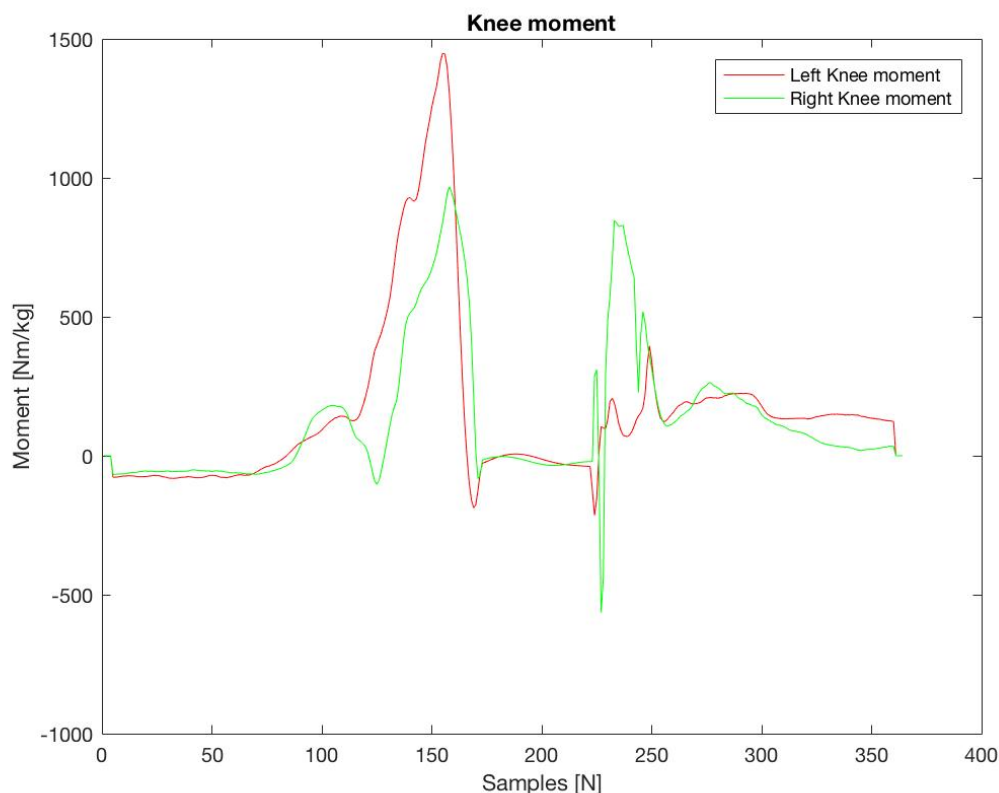
Obr. 2.7: Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1

### Knee moment

Analýza momentů sil pro koleno probíhala obdobně jako předchozí analýza. Vyhledávání lokálních extrémů bylo prováděno pomocí funkce *KneeMoment*, která signál

nejdříve rozdělila na požadované úseky a poté vyhledala maxima v jednotlivých částech.

V následujícím grafu je vykreslený knee moment zvlášť pro každou dolní končetinu. Hodnoty lokálních maxim jsou pro levé koleno 1448,8 Nm/kg a 395 Nm/kg, 967,5 Nm/kg a 847,3 Nm/kg pro pravé koleno.

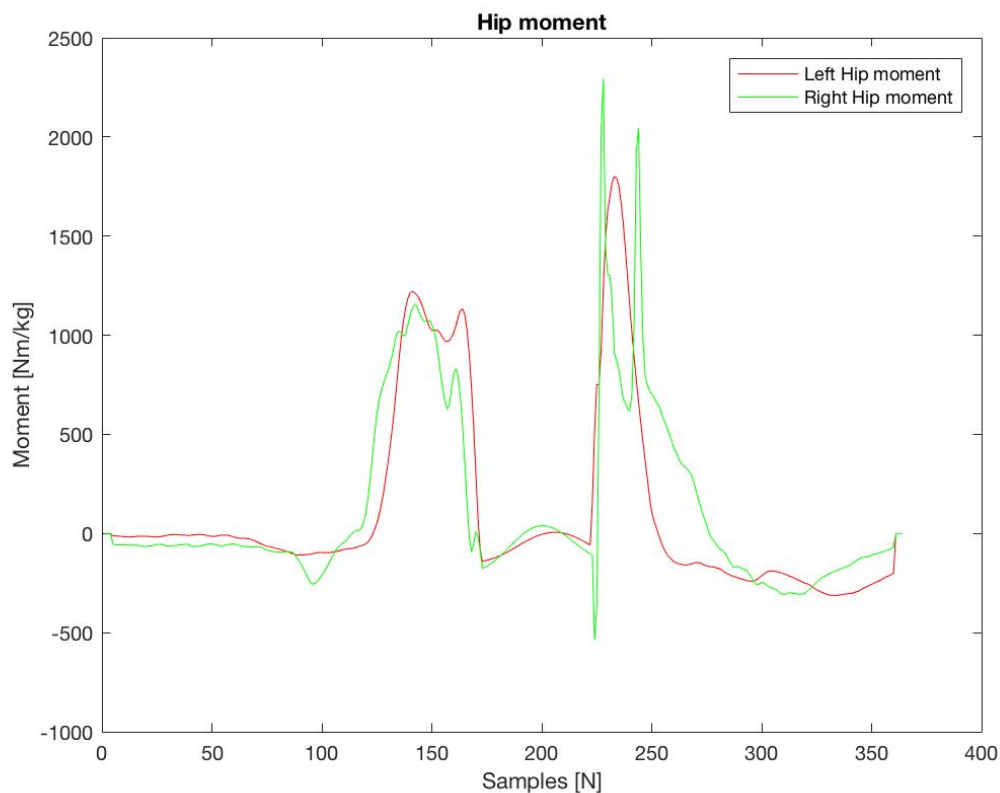


Obr. 2.8: Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1

## Hip moment

Pomocí funkce *HipMoment* byla provedena analýza momentů sil. Tato funkce rozděluje trial na požadované části a detekuje v jednotlivých úsecích lokální extrémy. Rozdělení částí muselo být určeno přesněji než v předchozích analýzách.

Následující graf zobrazuje vykreslení hip moment. Pro levou nohu je hodnota prvního maxima 1220,7 Nm/kg a druhého 1801 Nm/kg a pravé noze odpovídají hodnoty 1152,4 Nm/kg a 2295,1 Nm/kg.



Obr. 2.9: Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1

Analýza popsaná na předcházejících stranách byla aplikována na všechna data z pěti měření od každého pacienta. Následující tabulka obsahuje hodnoty a průměrné hodnoty momentů sil pacienta č. 1.

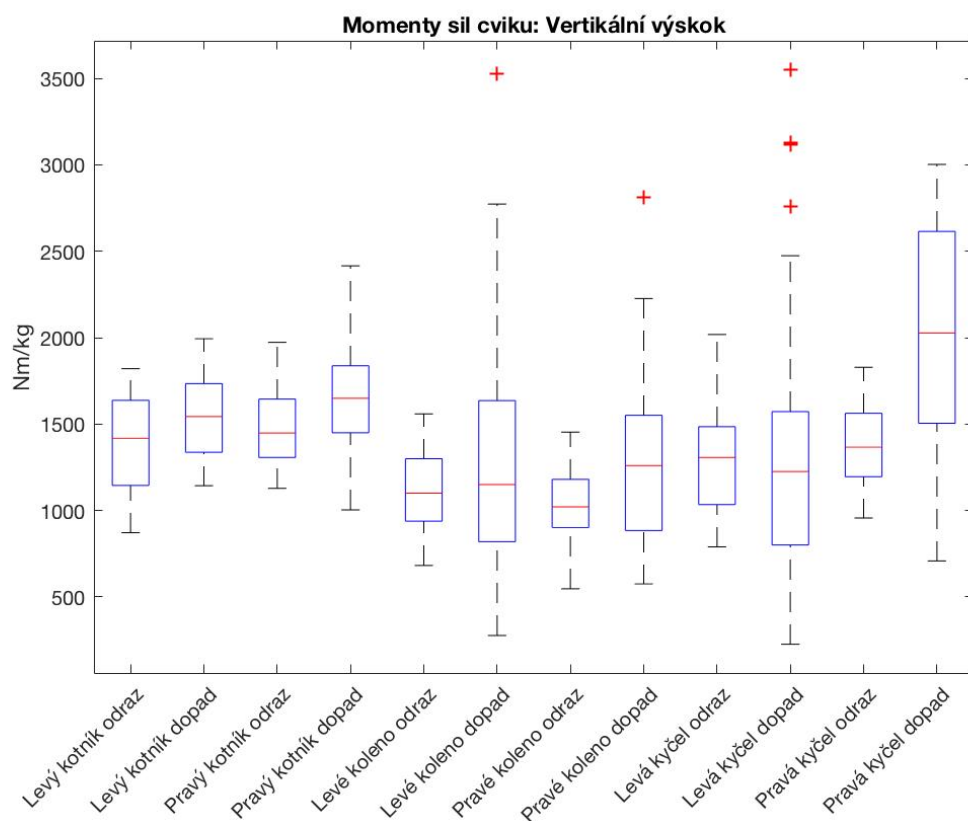
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	1354.2	1914.5	1293.2	1880.4	1448.8	395
1	2	1820.5	1667.2	1686.8	1219.3	1158.1	2616.6
1	3	1417.9	1826.5	1127.9	1853	1426.8	276.9
1	4	1634	1993.8	1344.4	1465.4	1559.2	1313
1	5	1600.4	1301.9	1448.2	1518	1228.6	728.6
PRŮMĚR		1565.4	1740.78	1380.1	1587.22	1364.3	1066.02
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	967.5	847.3	1220.7	1801	1152.4	2295.1
1	2	1037	1695.5	2018.3	741.4	1558.2	3002.2
1	3	1274.2	750.4	1682.6	1383	1365.3	2984.9
1	4	1026.3	964.3	1639	1147.5	1423.7	2278.2
1	5	1179.2	997.8	1531.6	1296.6	1328	2876.6
PRŮMĚR		1096.84	1051.06	1618.44	1273.9	1365.52	2687.4

Tab. 2.2: Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1

Průměrná hodnota vykazuje vyšší číslo momentu síly odrazu i dopadu u levé dolní končetiny u kotníku (levý: 1565,4 Nm/kg odraz, 1740,78 Nm/kg dopad a pravý: 1380,1 Nm/kg odraz, 1587,22 Nm/kg dopad) i u kolene (levé: 1364,3 Nm/kg odraz, 1066,02 Nm/kg dopad a pravé: 1096,84 Nm/kg odraz, 1051,06 Nm/kg dopad). Opačný jev nastává u kyčle, kde jsou hodnoty dopadu levé dolní končetiny (1273,9 Nm/kg) nižší než hodnoty pravé dolní končetiny (2687,4 Nm/kg).

Největší rozdíly jsou u momentu síly odrazu i dopadu kyčle, kde odraz je vyšší u pravé nohy a dopad je naopak vyšší u levé nohy. Výrazně vyšší hodnota je také u momentu síly odrazu levého kolene. Vyšší hodnoty momentů sil jsou mnohdy důvodem přetížení pohybového aparátu, což znamená že pacient č. 1 zřejmě přetěžuje levé koleno. Potvrdit to však můžeme až po analýze dalších cviků a doplňujících vyšetřeních.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Velikost mediánu u odrazu kotníku je 1417,9 Nm/kg (levá noha) a 1448,2 Nm/kg (pravá noha) a u dopadu kotníku 1543,9 Nm/kg (levý kotník) a 1648,9 Nm/kg (pravý kotník). U kolene je hodnota mediánu levé nohy 1100,1 Nm/kg (odraz), 1150,2 Nm/kg (dopad) a pravé nohy 1021,4 Nm/kg (odraz), 1259,7 Nm/kg (dopad). Hodnota mediánu odrazu a dopadu kyčle je 1307,2 Nm/kg a 1225,7 Nm/kg (levá dolní končetina), 1307,2 Nm/kg a 2027 Nm/kg (pravá dolní končetina).



Obr. 2.10: Momenty sil cviku: Vertikální výskok

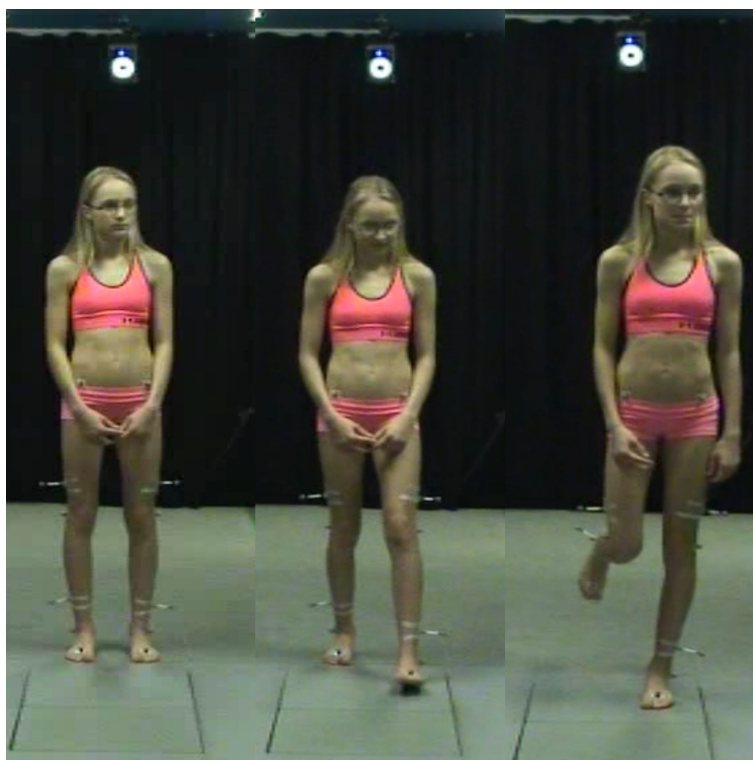
Největší rozpětí hodnot je při dopadu pravé kyčle a nejvíce odlehlých hodnot u dopadu levé kyčle. Největší rozdíl hodnoty mediánu mezi pravou a levou dolní končetinou je u dopadu levé kyčle.

## 2.3 Stoj na jedné noze

Druhý cvik, jenž měly pacientky provést, byl stoj na jedné noze. Jelikož je tento cvik jednoduchý, bylo očekáváno jeho precizní a přesně určené provedení.

Cvik začíná v úzkém stoji rozkročném, který je následovaný výkrokem s přenesením váhy na jednu nohu. V této poloze měly testované osoby za úkol setrvat, nicméně se to ukázalo jako těžký balanční úkol pro některé z nich, jelikož měly špatně posunuté těžiště a nebylo pro ně možné se v této poloze stabilizovat. Každá testovaná osoba prováděla pětkrát stoj na levé noze a pětkrát stoj na pravé noze.

Na následujícím obrázku lze vidět jednotlivé polohy cviku prováděné pacientkou.



Obr. 2.11: Stoj na jedné noze

### Kinetická analýza cviku

Následující odstavce se zabývají kinetickou analýzou popisovaného cviku. Byly zkoumány silové veličiny a momenty sil pro jednotlivé části dolní končetiny (kotník, koleno a kyčel) zvlášť pro levou i pravou nohu v určené ose (x, y, z).

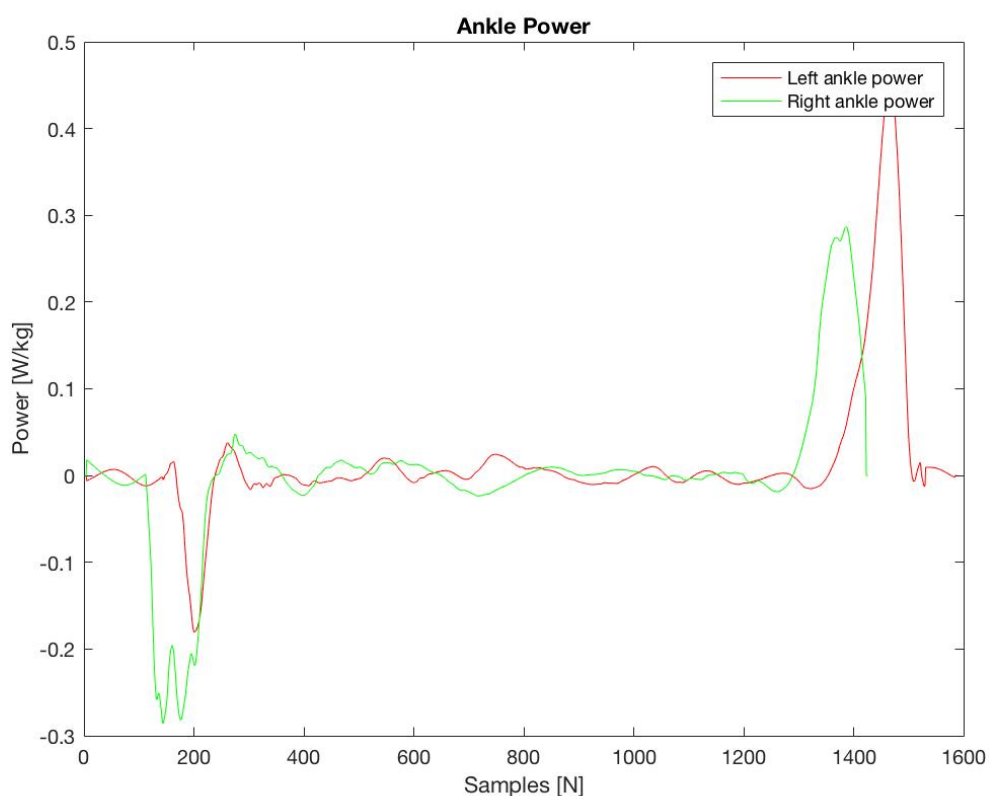
## Analýza silových veličin

Analýza silových veličin byla prováděna ve vertikále a dělíme ji na tři části podle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel (dále ankle power, knee power, hip power).

### Ankle power

Tato analýza byla prováděna pomocí funkce *Ankle power*, jejíž funkce je popsána v předchozí kapitole.

Následující graf obsahuje vykreslený ankle power pro stoj na levé a na pravé noze. Na ose x je navzorkovaný čas a na ose y je síla (power) v jednotkách W/kg. Lokální extrémy při stoji na levé noze jsou: -0,1807 W/kg, -0,4543 W/kg a při stoji na pravé noze: 0,2861 W/kg, 0,2865 W/kg.

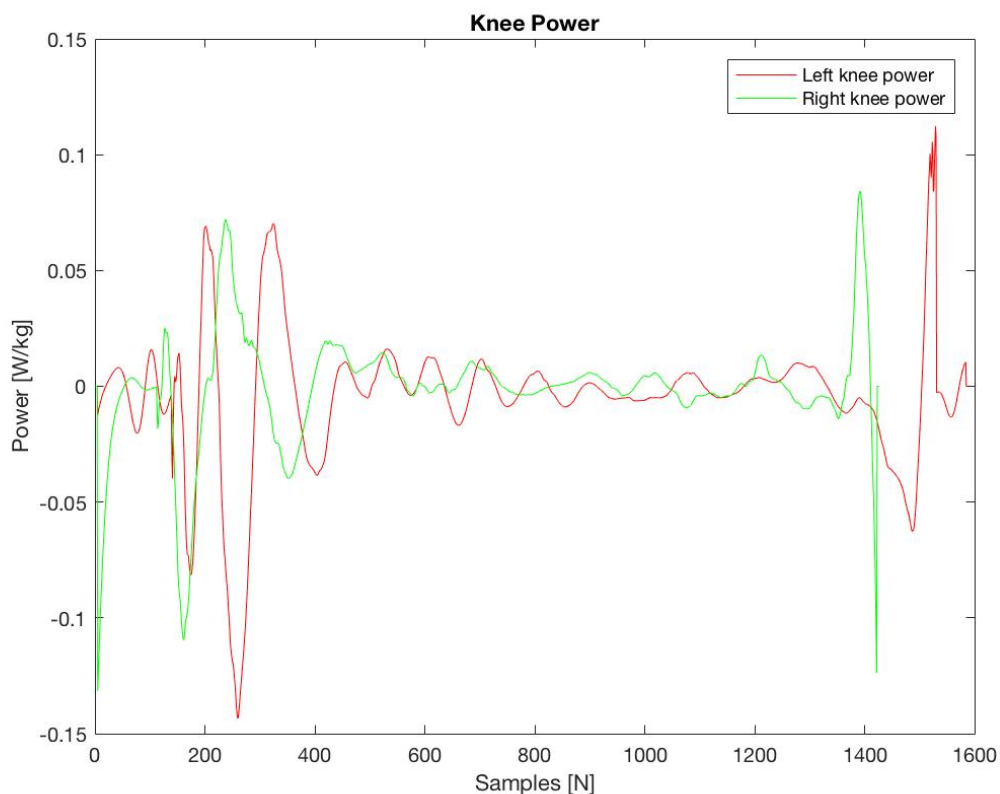


Obr. 2.12: Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1

### Knee power

Analýza knee power probíhala pomocí funkce *KneePower*, která rozděljuje signál a detekuje lokální extrémy ve specifických částech signálu.

V následujícím grafu je vykreslena veličina knee power dohromady pro pokus stoje na levé noze a pravé noze. Lokální extrémy tohoto signálu jsou pro levé koleno: 0,0703 W/kg, 0,0101 W/kg a pro pravé koleno: 0,0720 W/kg, 0,0135 W/kg.



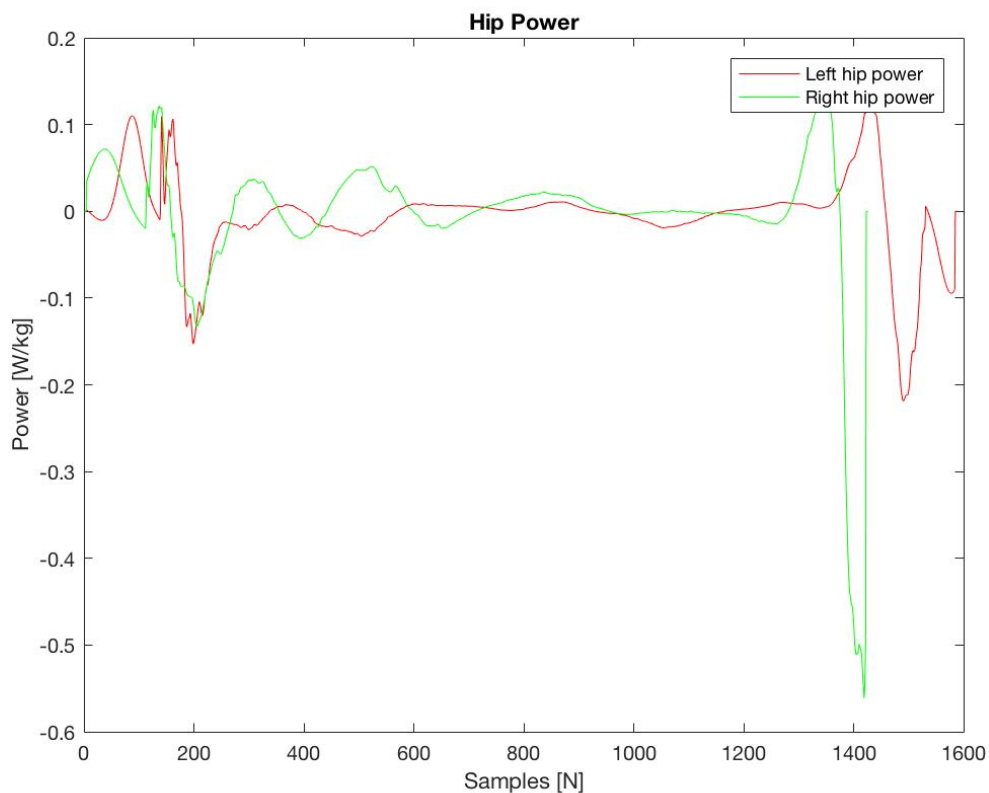
Obr. 2.13: Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1

## Hip power

Detekce lokálních extrémů hip power, byla prováděna pomocí funkce *HipPower*. její podrobný popis je uveden v předchozí kapitole.

Následující graf zobrazuje konkrétní případ vykreslení hip power pro stoj na levé a stoj na pravé noze. První maximum má hodnotu 0,1271 W/kg u levé dolní končetiny a 0,1217 W/kg u pravé dolní končetiny. Druhé maximum má hodnotu 0,1227 W/kg u levé kyčle a 0,1040 W/kg u pravé kyčle.





Obr. 2.14: Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1

Analýza jednotlivých částí dolní končetiny byla aplikována na všechny data z celkem deseti měření od každého pacienta. Následující tabulka obsahuje hodnoty a průměrné hodnoty silových veličin pacienta č. 1.

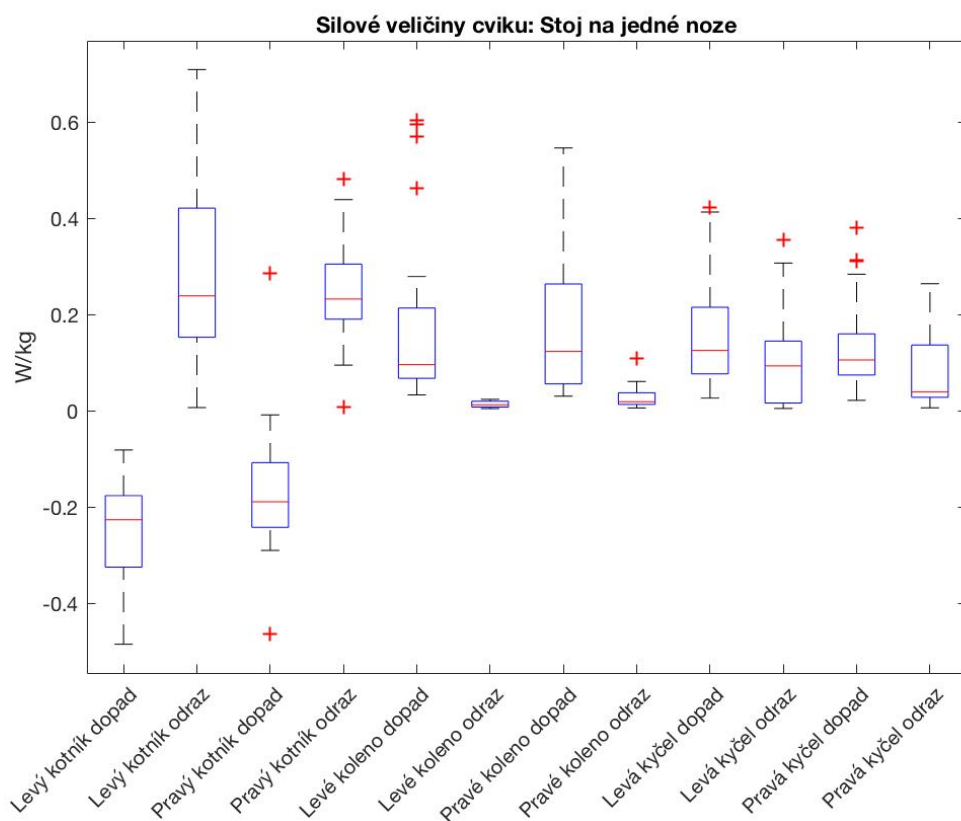
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-0.1807	0.4543	0.2861	0.2865	0.0703	0.0101
1	2	-0.1738	0.3887	-0.4631	0.3208	0.1485	0.0240
1	3	-0.1134	0.2915	-0.0082	0.0087	0.0711	0.0189
1	4	-0.1885	0.3595	-0.1709	0.4822	0.1173	0.0116
1	5	-0.2097	0.3561	-0.2768	0.4391	0.0961	0.0190
PRŮMĚR		-0.1732	0.3700	-0.1266	0.3075	0.1007	0.0167
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	0.0720	0.0135	0.1271	0.1227	0.1217	0.1040
1	2	0.0960	0.0613	0.0769	0.1490	0.0956	0.0588
1	3	0.1385	0.0170	0.0771	0.1176	0.0219	0.0388
1	4	0.1399	0.0340	0.0799	0.0052	0.1206	0.0399
1	5	0.1207	0.0199	0.0737	0.1077	0.0818	0.0713
PRŮMĚR		0.1134	0.0291	0.0869	0.1004	0.0883	0.0626

Tab. 2.3: Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1

Průměrná hodnota vykazuje vyšší číslo prvního maxima pravého kotníku (-0,1266 W/kg) a kyčle (0,0883 W/kg) než levého kotníku (-0,1732 W/kg) a kyčle (0,0869 W/kg), naopak tomu je pouze v případě kolene, kde je vyšší hodnota levé nohy (0,1007 W/kg) než v případě pravé nohy (0,1134 W/kg). Vyšší čísla druhého maxima má ankle power levé dolní končetiny (levá: 0,3700 W/kg, pravá: 0,3075 W/kg). Podobně tomu je v případě hip power (levá: 0,0869 W/kg, pravá: 0,0883 W/kg), i když zde jsou hodnoty téměř stejné. Pravá dolní končetina vykazuje vyšší hodnoty druhého maxima pravé nohy (0,0291 W/kg), než levé nohy (0,0167 W/kg) pouze u kolene.

Největší rozdíly jsou u dopadu kotníku, kde je hodnota levé dolní končetiny vyšší než pravé dolní končetiny. Tento cvik byl vždy prováděn zvlášť pro levou a pravou nohu, tudíž jsou mírné rozdíly přijatelné. Hodnoty pro jednotlivé dolní končetiny by však měly být téměř identické, což se dané pacientce s různými menšími odchylkami dařilo. Pravý kotník však zatěžovala více než levý a v opakovaném přetěžování by mohlo dojít k zranění této části těla.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Medián hodnot kotníku je u prvního maxima -0,2261 W/kg (levý), -0,1887 W/kg (pravý) a u druhého maxima 0,2390 W/kg (levý), 0,2325 W/kg (pravý). Medián hodnot odrazu levého a pravého kolene je 0,0962 W/kg a 0,1236 W/kg a dopadu levého a pravého kolene je 0,0127 W/kg a 0,0192 W/kg. Hodnota mediánu u kyčle je při prvním lokálním maximu a při druhém lokálním maximu 0,1258 W/kg a 0,0936 W/kg (levá kyčel) a 0,1059 W/kg a 0,0393 W/kg (pravá kyčel).



Obr. 2.15: Silové veličiny cviku: Stoj na jedné noze

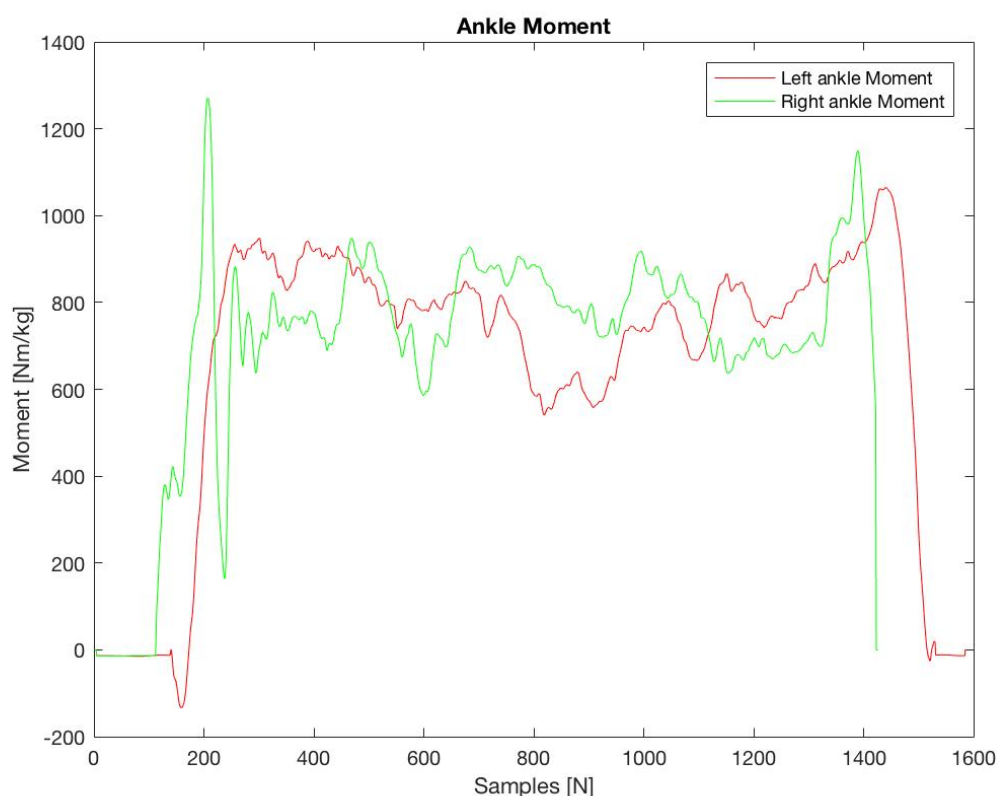
Největší rozpětí je u dopadu levého kotníku a nejvíce odlehlých hodnot je u odrazu levého kolene. Naopak nejmenší rozpětí je u druhého maxima levého kolene. Velký rozdíl hodnot mediánu je u prvního i druhého lokálního maxima u kyčlí.

## Analýza momentů sil

Analýza momentů sil byla prováděna v ose x pomocí vybraného programového prostředí- Matlab2017. Dělíme ji na tři části podle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel (dále ankle moment, knee moment, hip moment).

### Ankle moment

Pomocí funkce *AnkleMoment* detekujeme dva lokální extrémy. Následující graf zobrazuje ankle moment pro stoj na pravé noze a pro stoj na levé noze. Osa x je navzorkovaný čas a osa y je moment síly v jednotkách Nm/kg. Lokální extrémy v tomto případě jsou pro levý kotník: 948,6 Nm/kg a 1064,7 Nm/kg a pro pravý kotník: 1270,5 Nm/kg a 1149,3 Nm/kg.

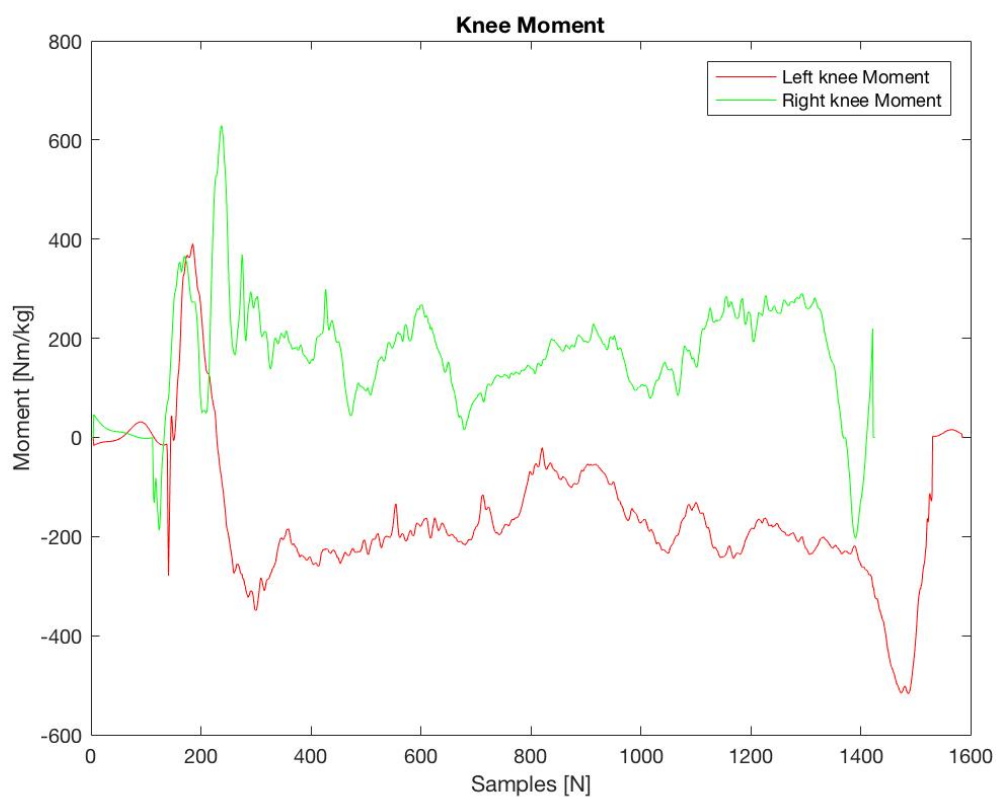


Obr. 2.16: Ukázka signálu Ankle moment pacienta č. 1

### Knee moment

Analýza momentů sil pro koleno probíhala podobně jako předchozí analýza pro kotník. Lokální extrémy vyhledávala funkce *KneeMoment*. V následujícím grafu je vykreslený moment sil kolene pro každou dolní končetinu. Hodnoty maxim jsou pro

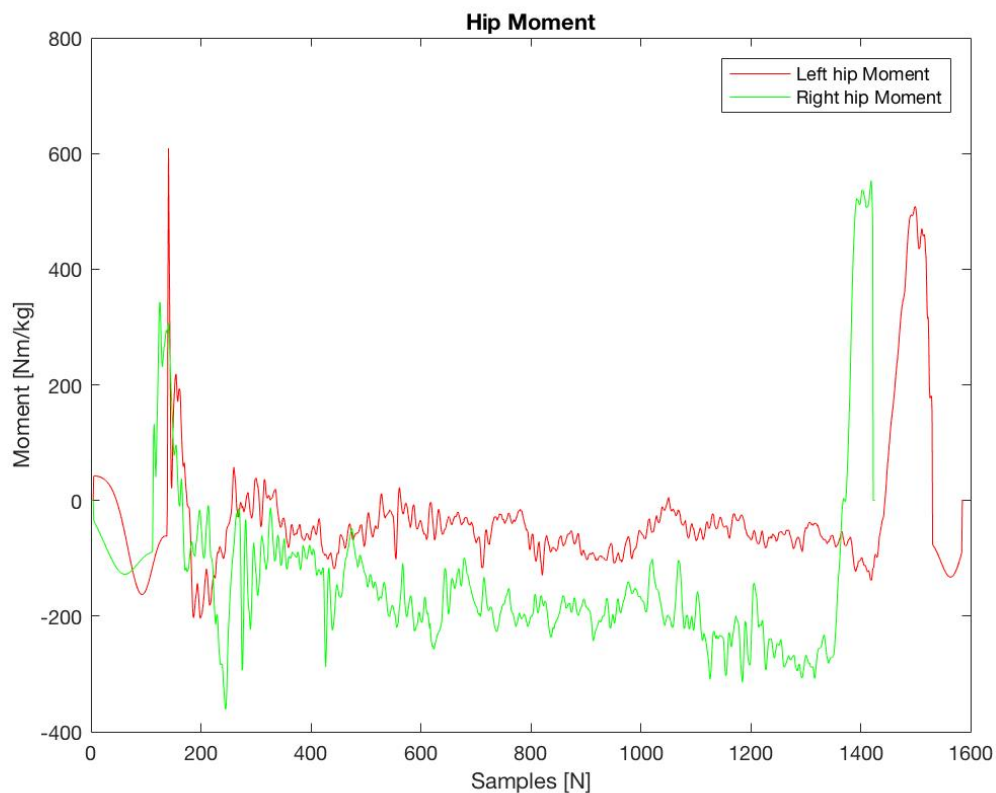
levé koleno: 390,6419 Nm/kg, 15,4656 Nm/kg a pro pravé koleno: 629,3077 Nm/kg, 289,5833 Nm/kg.



Obr. 2.17: Ukázka signálu Knee moment pacienta č. 1

## Hip moment

Analýza momentů sil pro kyčel probíhala pomocí funkce *HipPower*, která signál rozčlenila a vyhledávala lokální extrémy ve specifických částech signálu. Následující graf vykresluje hip power pro stoj na levé noze a stoj na pravé noze. Pro levou nohu jsou hodnoty maxim: 609,0491 Nm/kg a 508,6313 Nm/kg. Pro pravou nohu jsou hodnoty maxim: 343,0879 Nm/kg a 553,2733 Nm/kg.



Obr. 2.18: Ukázka signálu Hip moment pacienta č. 1

Analýza popsaná na předchozích stranách byla aplikována na všechny data z deseti měření od každého pacienta (pět měření pro pravou nohu a pět měření pro levou nohu). Tabulka obsahuje hodnoty a průměrné hodnoty momentů sil pacienta č.1.

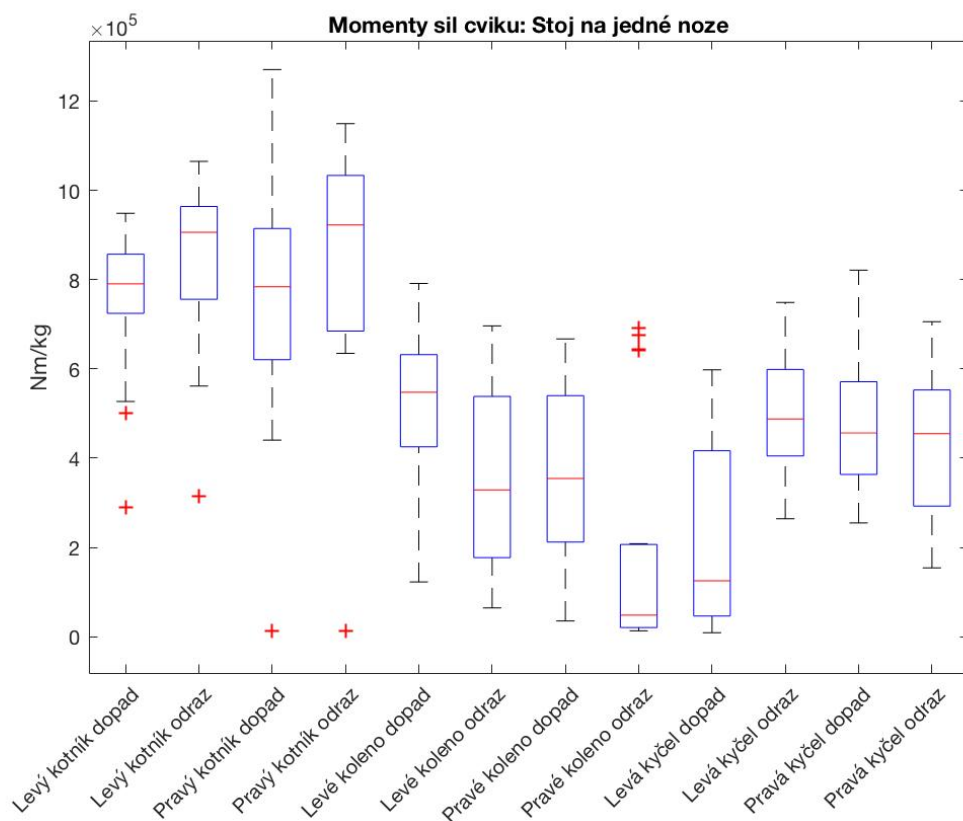
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	948.6000	1064.7000	1270.5000	1149.3000	390.6419	15.4656
1	2	902.0000	1021.5000	894.1172	993.1762	443.9704	25.4033
1	3	801.8517	948.6301	12.1119	11.8894	390.5648	41.0934
1	4	790.3000	1014.4000	963.3000	1054.3000	473.4005	14.0814
1	5	812.7281	812.1762	858.8000	1098.5000	331.4573	102.3081
PRŮMĚR		851.0960	972.2813	799.7658	861.4331	406.0070	39.6704
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	629.3077	289.5833	609.0491	508.6313	343.0879	553.2733
1	2	402.7581	312.4771	122.6056	280.0457	268.8301	297.1096
1	3	123.1831	123.7275	335.5440	422.2732	254.8865	496.0893
1	4	548.8785	220.5095	320.4439	445.1496	424.8322	577.5869
1	5	512.5176	349.9395	407.7038	354.3555	287.4800	503.1359
PRŮMĚR		443.3290	259.2474	359.0693	402.0911	315.8233	485.4390

Tab. 2.4: Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1

Průměrná hodnota vykazuje vyšší číslo momentu síly prvního i druhého maxima u levého kotníku (851,0960 Nm/kg, 972,2813 Nm/kg) než u pravého kotníku (799,7658 Nm/kg, 861,4331 Nm/kg). Přesně naopak tomu je u momentu síly prvního i druhého maxima u kolene, kde je nižší číslo u levé dolní končetiny (406,0070 Nm/kg, 39,6704 Nm/kg) než u pravé dolní končetiny (443,3290 Nm/kg, 259,2474 Nm/kg). První lokální maximum levé kyčle (359,0693 Nm/kg) je vyšší než pravé kyčle (315,8233 Nm/kg) a naopak je tomu u druhého maxima momentu síly kyčle, kde je vyšší hodnota u pravé nohy (pravá: 485,4390 Nm/kg, levá: 402,0911 Nm/kg).

Největší rozdíly momentu síly jsou u dopadu levého kolena, kde se hodnoty liší v řádu stovek. Vyšší hodnoty momentů sil a rozdíly mezi jednotlivými dolními končetinami jsou často důvodem přetížení pohybového aparátu.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Velikost mediánu prvního maxima u kotníku je 790,45 Nm/kg (levý kotník), 784,0144 Nm/kg (pravý kotník) a druhého maxima u kotníku je 905,831 Nm/kg (levý kotník), 922,472 Nm/kg (pravý kotník). U kolene je hodnota mediánu levé nohy 547,5541 Nm/kg (první maximum), 328,8217 Nm/kg (druhé maximum) a pravé nohy 354,4969 Nm/kg (první maximum), 48,3983 Nm/kg (druhé maximum). Hodnota mediánu prvního a druhého maxima kyčle je 125,2185 Nm/kg, 487,8705 Nm/kg (levá noha) a 456,4525 Nm/kg, 455,0260 Nm/kg (pravá noha).



Obr. 2.19: Momenty sil cviku: Stoj na jedné noze

Největší rozpětí hodnot je u prvního maxima levé kyčle a nejvíce odlehlých hodnot u stejného maxima pravého kolene. Naopak nejmenší rozpětí mají hodnoty prvního maxima levého kolene.



## 2.4 Výskok z jedné nohy

Třetí cvik, který měly pacientky provést byl výskok z jedné nohy.

Cvik začíná v úzkém stoji rozkročném, který je následovaný výkrokem s přenesením váhy na jednu nohu. Z této polohy je proveden podřep na jedné noze a vertikální výskok do polohy co nejvýše nad podložku. Dopad je v ideálním případě do identického podřepu, ze kterého byl proveden výskok. Cvik končí ve stoji na jedné noze, tuto polohu by měla testovaná osoba stabilizovat a setrvat v ní.

Provedení bylo poměrně problematické, jelikož poslední poloha, stoj na jedné noze, byla pro pacientky poměrně náročná na udržení.

Na následujícím obrázku lze vidět jednotlivé polohy cviku prováděné pacientkou.



Obr. 2.20: Výskok z jedné nohy

### Kinetická analýza cviku

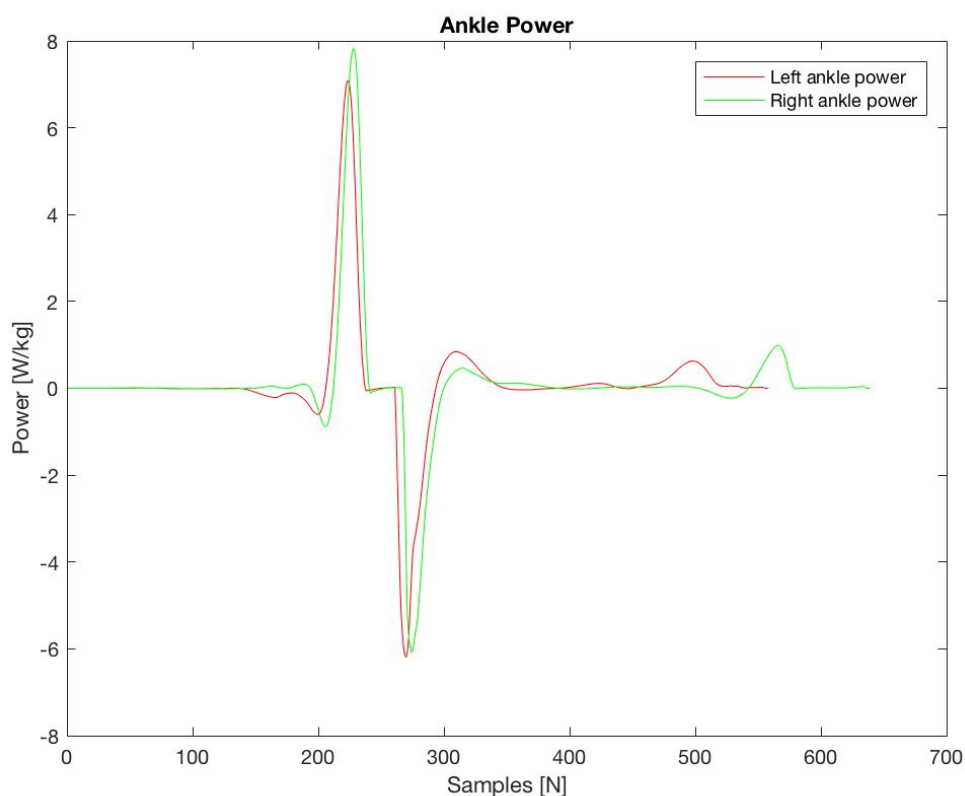
Tato část se zabývá kinetickou analýzou silových veličin a momentů sil, které byly zkoumány pro jednotlivé části dolní končetiny (kotník, koleno, kyčel) zvláště pro levou i pravou nohu.

## Analýza silových veličin

Analýza silových veličin byla prováděna ve vertikále a dělíme ji dle umístění markerů na tři části: koleno, kotník a kyčel (dále ankle power, knee power a hip power). Pacientka prováděla cvik vždy pětkrát na jednu nohu a poté pětkrát na druhou nohu, hodnoty se tedy mohou pro jednotlivé dolní končetiny mírně lišit, jelikož jsou jednotlivé pokusy časově posunuté. Průměrná hodnota měření by však měla být pro obě nohy stejná. U této pacientky však byly téměř všechny hodnoty odrazu i dopadu vyšší ze signálu z markerů připevněných na pravé noze.

### Ankle power

Tato analýza byla prováděna pomocí funkce *AnklePower*. Následující graf obsahuje vykreslený ankle power pro pravou a levou dolní končetinu. Na ose x je navzorkovaný čas a na ose y je síla (power) v jednotkách W/kg. Lokální extrémy tohoto signálu jsou 7,0789 W/kg (hodnota odpovídající odrazu) a -6,1890 W/kg (hodnota odpovídající dopadu) pro levý kotník a 7,8357 W/kg, -6,0734 W/kg pro pravý kotník.

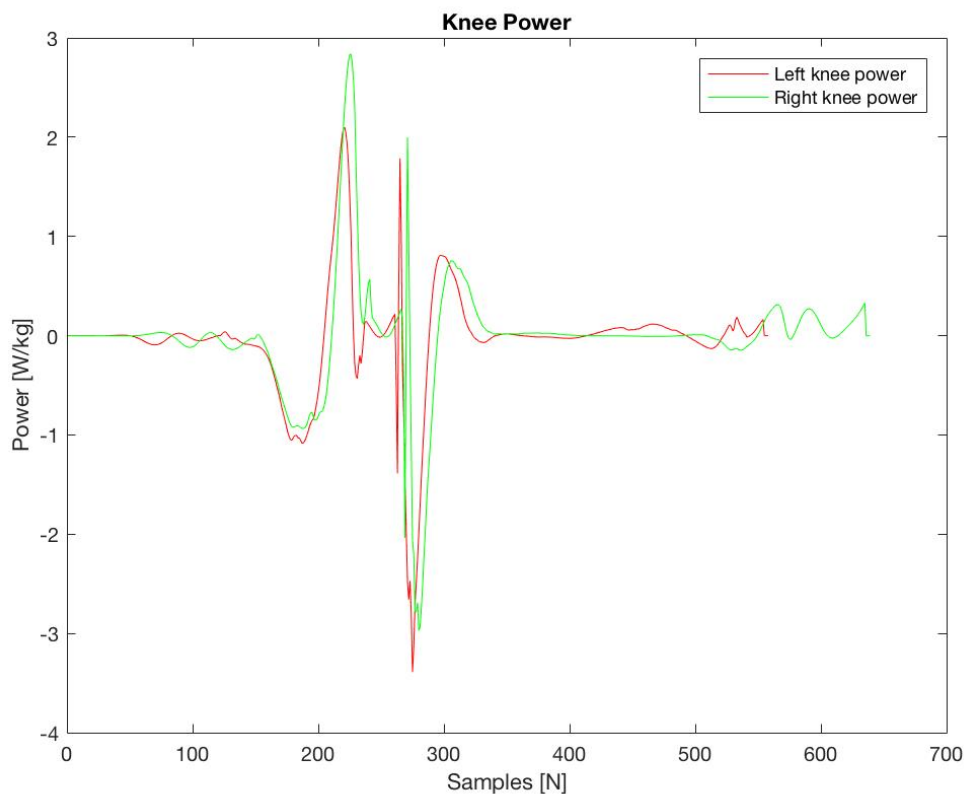


Obr. 2.21: Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1

## Knee power

Analýza knee power probíhala obdobně jako předchozí analýza, ale za pomoci funkce *KneePower*. Tato funkce rozděljuje signál a vyhledává lokální extrémy, které odpovídají odrazu a dopadu končetiny na podložku.

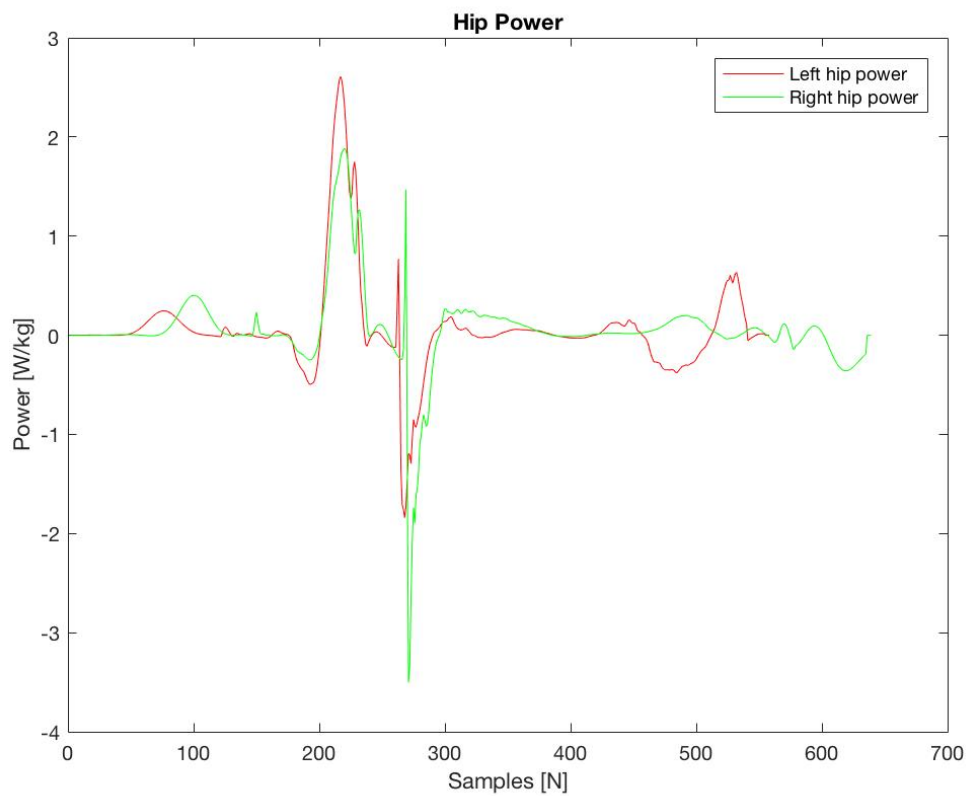
V následujícím grafu je vykreslena veličina knee power pro každou dolní končetinu. Lokální extrémy pro levou nohu jsou: 2,0979 W/kg, 0,8098 W/kg a pro pravou nohu: 2,8352 W/kg, 1,9991 W/kg.



Obr. 2.22: Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1

## Hip power

Detekce lokálních extrémů hip power byla provedena pomocí funkce *HipPower*. Následující graf zobrazuje vykreslení hip power pro levou a pravou dolní končetinu. První maximum má pro levou nohu hodnotu 2,6079 W/kg a pro pravou 1,8844 W/kg a druhé maximum pro pravou kyčel: 0,6351 W/kg a pro levou kyčel: 1,4688 W/kg.



Obr. 2.23: Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1

Předchozí analýza byla aplikována na všechna získaná data od všech pacientů. Celkem tedy deset měření (pět pro levou nohu a pět pro pravou nohu). Následující tabulka obsahuje lokální extrémy a jejich průměry získané analýzou dat prvního pacienta.

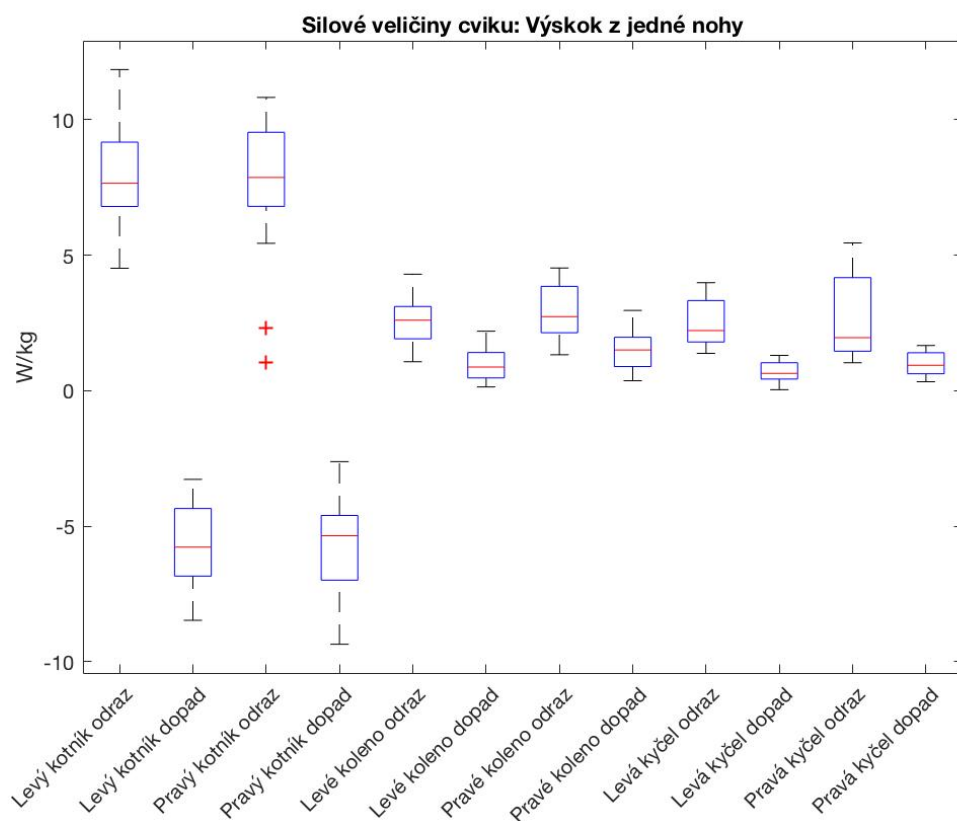
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRÁVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	7.0789	-6.1890	7.8357	-6.0734	2.0979	0.8098
1	2	4.8471	-3.7974	9.6048	-4.9473	1.0696	0.3162
1	3	8.2572	-5.1027	8.1942	-5.3957	1.5877	0.9905
1	4	5.9304	-4.3240	9.4699	-4.9207	1.5611	0.9042
1	5	4.5218	-3.8041	6.7422	-5.3044	1.2516	0.2754
PRŮMĚR		6.1271	-4.6434	8.3694	-5.3283	1.5136	0.6592
		PRÁVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRÁVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	2.8352	1.9991	2.6079	0.6351	1.8844	1.4688
1	2	2.1599	1.0244	1.7891	0.2508	1.9326	0.3919
1	3	1.5996	2.4470	1.9368	0.0384	2.3027	0.7268
1	4	1.3285	1.6107	1.3789	0.4887	1.9126	0.4015
1	5	2.1246	1.3372	1.7562	0.1877	1.7663	1.4330
PRŮMĚR		2.0096	1.6837	1.8938	0.3201	1.9597	0.8844

Tab. 2.5: Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1

Průměrná hodnota je nižší u odrazu levého kotníku (6,1271 W/kg) než u pravého kotníku (8,3694 W/kg), naopak tomu je u dopadu kotníků (levý: -4,6434 W/kg, pravý: -5,3283). Průměrná hodnota prvního i druhého lokálního maxima u kolene je nižší u levé nohy (1,5136 W/kg, 0,6592 W/kg) než u pravé nohy (2,0096 W/kg, 1,6837 W/kg). Stejný případ nastává u prvního maxima kyčle (levá: 1,8938 W/kg, pravá: 1,9597 W/kg) a i druhého maxima kyčle (levá: 0,3201 W/kg, pravá: 0,8844 W/kg).

Největší rozdíly je možné pozorovat u odrazu i dopadu kolen, kde jsou hodnoty podstatně vyšší u pravé dolní končetiny. Větší rozdíl mezi hodnotami má také druhé lokální maximum kyčlí. Stejně jako v předchozích cvicích dochází k přetěžování pravého kolene.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Velikost mediánu u odrazu a dopadu kotníku je: 7,6541 W/kg, -5,7691 W/kg (levá noha) a 7,8691 W/kg, -5,3500 W/kg (pravá noha). Medián hodnot prvního maxima kolene je u levé nohy 2,6023 W/kg a u pravé nohy 2,7329 W/kg a druhého maxima kolene je u levé nohy 0,8739 W/kg a 1,5052 W/kg u pravé nohy. Hodnota mediánu u kyčle je při odrazu a dopadu 2,2215 W/kg, 0,6404 W/kg (levá kyčel) a 1,9567 W/kg, 0,9420 W/kg.



Obr. 2.24: Silové veličiny cviku: Výskok z jedné nohy

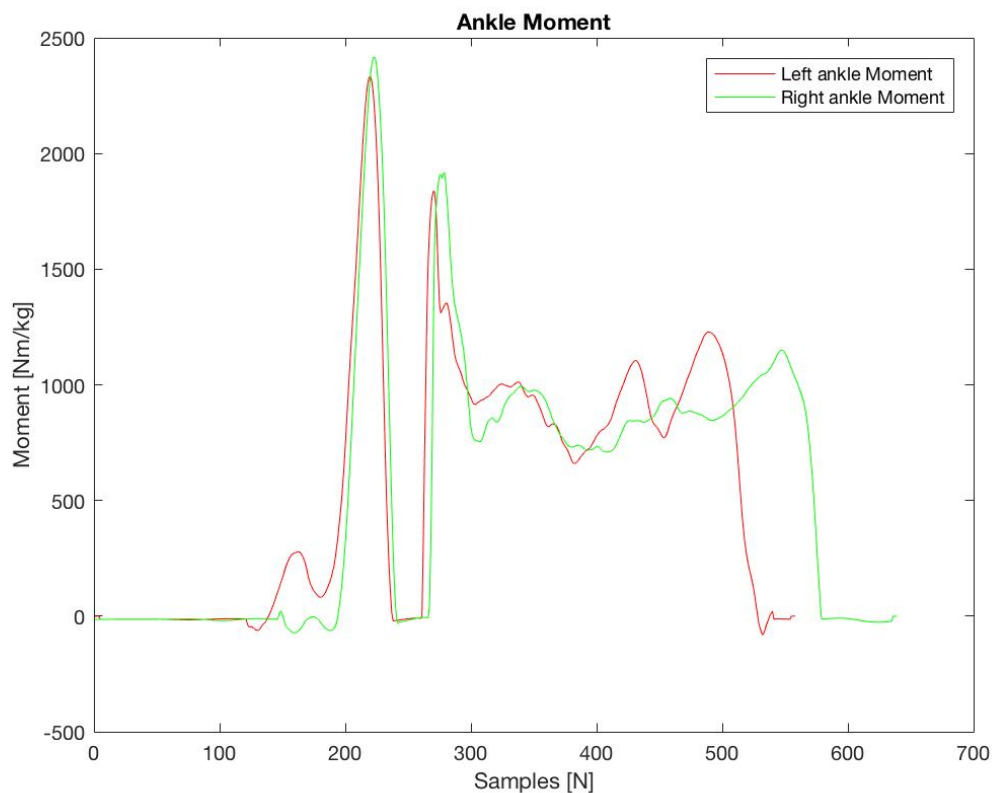
Největší rozpětí hodnot je u prvního maxima pravého kotníku a naopak nejmenší je u druhého maxima levé kyčle. Nejvíce odlehlých hodnot se nachází u prvního lokálního maxima pravého kotníku.

### Analýza momentů sil

Analýza momentů sil byla prováděna v ose x a dělíme ji na tři části podle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel (dále ankle moment, knee moment, hip moment).

#### Ankle moment

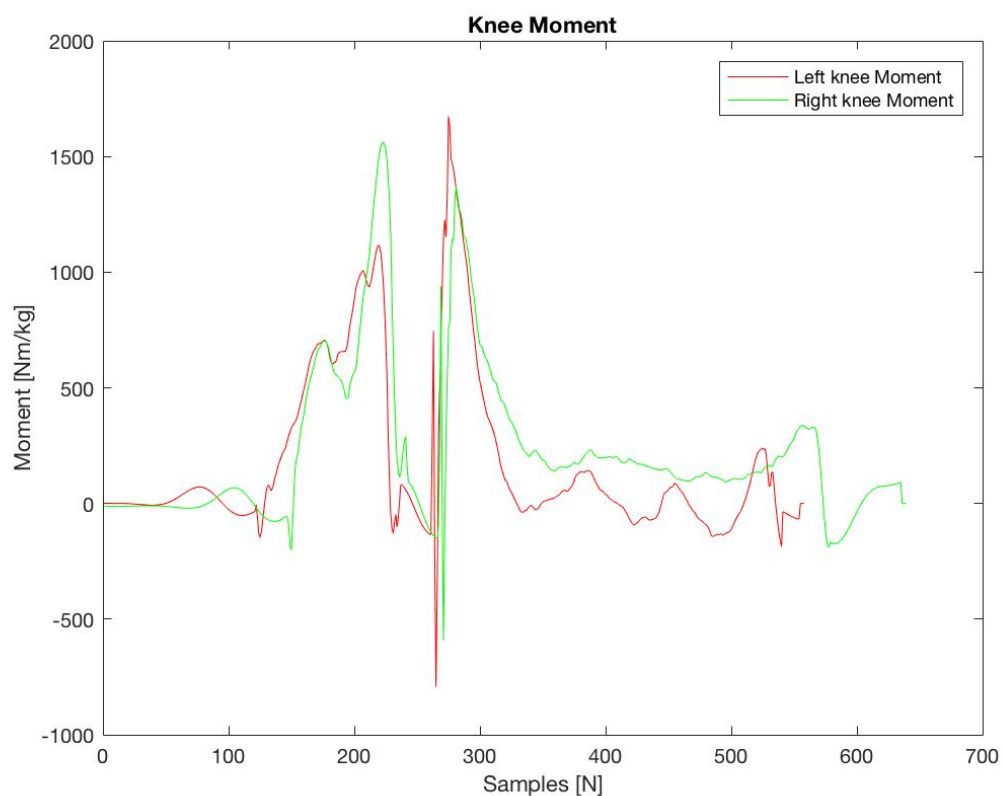
Analýza probíhala pomocí funkce *AnkleMoment*. Následující graf zobrazuje ankle moment pro výskok z jedné nohy. Osa x je navzorkovaný čas a osa y je moment síly v jednotkách Nm/kg. Lokální extrémy signálu jsou pro levý kotník: 2333,0 Nm/kg a 1837,1 Nm/kg a pro pravý kotník: 2418,0 Nm/kg a 1916,6 Nm/kg.



Obr. 2.25: Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1

### Knee moment

Pomocí funkce *KneeMoment* byla provedena analýza momentů sil. V následujícím grafu je vyobrazení hip moment. První maximum pro koleno je 1115,6 Nm/kg (levé) a 1561,9 Nm/kg (pravé) a druhé maximum je: 1673,8 Nm/kg (levé) a 1367,9 Nm/kg. (pravé).

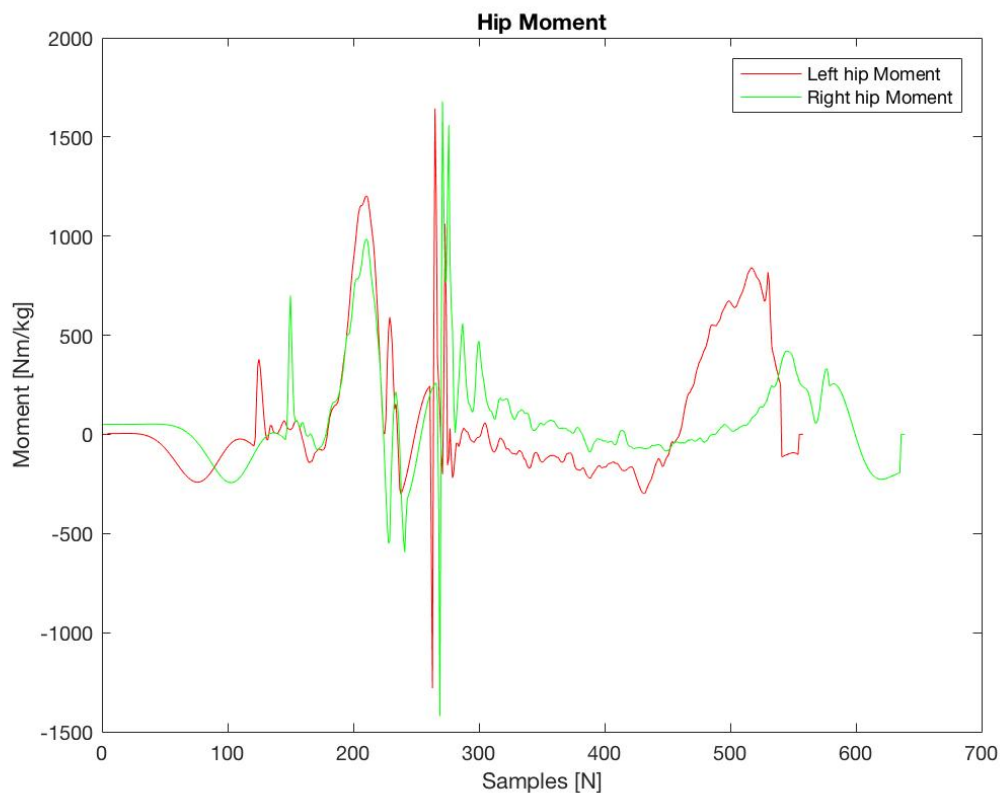


Obr. 2.26: Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1

### Hip moment

Analýza momentů sil pro kyčel probíhala pomocí funkce *HipMmoment*. Graf znázorňuje vykreslení hip moment do grafu, kde první maximum je 1201,4 Nm/kg pro levou a 1678,5 Nm/kg pro pravou kyčel. Druhé maximum tohoto signálu je 1643,5 Nm/kg (levá noha) a 470,8 Nm/kg (pravá noha).





Obr. 2.27: Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1

Předchozí analýza byla postupně aplikována na všechna získaná data. Následující tabulka obsahuje jednotlivé hodnoty lokálních maxim a jejich průměrné hodnoty momentů sil získaných z dat od pacienta č.1.

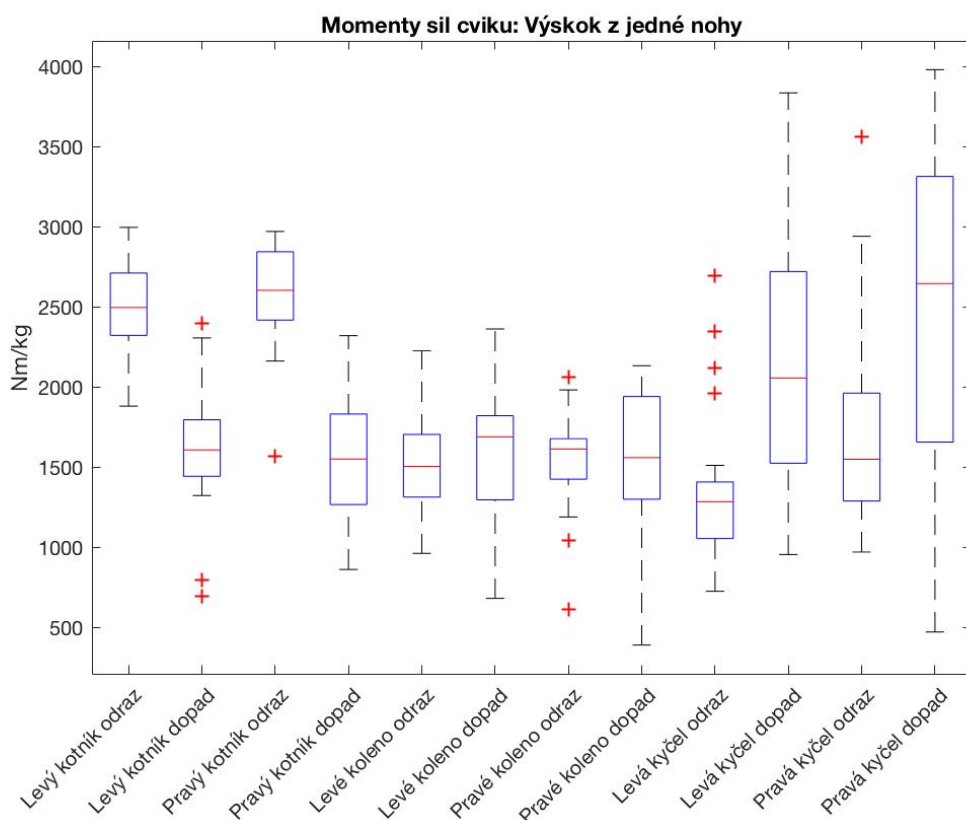
PACIENT		ZKOUŠKA ČÍSLO		LEVÝ KOTNÍK		PRÁVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
				[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1			2333.0	1837.1	2418.0	1916.6	1115.6	1673.8
1	2			1879.6	1633.3	2489.3	1231.1	1338.8	1701.6
1	3			2980.9	1428.8	2486.9	1790.9	964.9	2044.8
1	4			2248.9	1556.9	2334.0	1595.8	1133.7	2360.9
1	5			2406.1	1752.6	2622.4	1782.6	1301.2	2086.5
PRŮMĚR				2369.7	1641.7	2470.1	1663.4	1170.8	1973.5
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRÁVÁ KYČEL			
				[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1			1561.9	1367.9	1201.4	1643.5	1678.5	470.8
1	2			1236.2	2057.0	957.6	1295.9	1106.9	2584.8
1	3			1569.5	1174.1	917.3	1276.3	1157.6	2518.9
1	4			1280.7	2041.9	724.3	2711.2	969.3	2748.1
1	5			1187.8	1634.8	1301.2	2086.5	979.1	2850.7
PRŮMĚR				1367.2	1655.1	1020.4	1802.7	1178.3	2234.7

Tab. 2.6: Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1

Průměrná hodnota prvního lokálního maxima všech zmíněných veličin je vyšší u levé dolní končetiny (kotník: 2369,7 Nm/kg, koleno: 1170,8 Nm/kg, kyčel: 1020,4 Nm/kg) než u pravé dolní končetiny (kotník: 2470,1 Nm/kg, koleno: 1367,2 Nm/kg, kyčel: 1178,3 Nm/kg). Stejně tak je vyšší hodnota průměru hodnot druhého maxima u kotníku levé nohy (levý: 1641,7 Nm/kg, pravý: 1663,4 Nm/kg) a u kyčle levé nohy (levá: 1802,7 Nm/kg, pravá: 2234,7 Nm/kg). Naopak vyšší hodnota druhého maxima je u pravého kolene (1020,4 Nm/kg) a u levého kolene je nižší (1973,5 Nm/kg).

Největší rozdíl je u průměrné hodnoty druhého maxima levé a pravé kyčle, kde jsou hodnoty pravé kyčle výrazně vyšší. Ostatní veličiny mají mírné odchylky mezi pravou a levou nohou, nejsou však tak markantní jako u zmíněné kyčle, kde se rozdíl pohybuje ve stovkách Nm/kg.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Hodnota mediánu u odrazu kotníků je u levého: 2494,8 Nm/kg a u pravého: 2602,2vNm/kg. Medián hodnot druhého maxima levého a pravého kotníku je 1606,7 Nm/kg a 1549,7 Nm/kg. U kolene je hodnota mediánu při odrazu 1503,6 Nm/kg (levá noha) a 1612,3 Nm/kg (pravá noha) a při dopadu 1687,7 Nm/kg (levá noha) a 1558,2vNm/kg (pravá noha). Hodnota mediánu lokálních extrémů u kyčle je u levé nohy 1283 Nm/kg, 2055,4 Nm/kg a u pravé nohy 1547,8 Nm/kg, 2644 Nm/kg.



Obr. 2.28: Momenty sil cviku: Výskok z jedné nohy

Největší rozpětí hodnot je u dopadu pravé kyčle a nejvíce odlehlých hodnot je u odrazu levé kyčle. Nejmenší rozpětí hodnot má veličina right knee při prvním lokálním extrému, nicméně se právě u této veličiny vyskytuje i poměrně velký počet odlehlých hodnot.

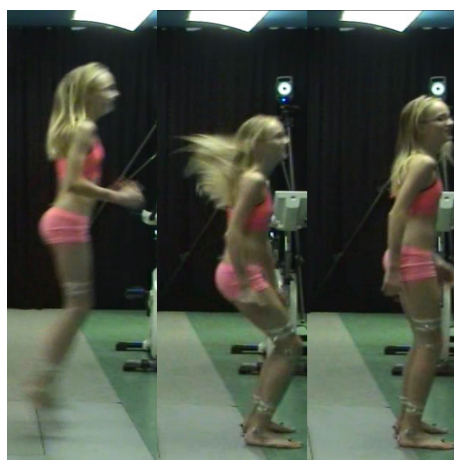
## 2.5 Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu

Předposledním cvikem, který pacientky prováděly byl výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu.

Samotný cvik je prováděn z rozkročného stoje na vyvýšeném místě a pokračuje do rozkročného podřepu, kdy se koncentruje váha celého těla na plosky nohou nad kterými se nachází hýždě. Pokračuje se maximálním výskokem vpřed nad podložku a následuje dopad ideálně do identického podřepu, ze kterého byl proveden výskok. Z podřepu je proveden další výskok do maximální výšky s posunem vpřed a z něj dopad do podřepu. Cvik končí opět v rozkročném stoji. Na následujícím obrázku lze vidět jednotlivé polohy cviku prováděné pacientkou.



Obr. 2.29: Výskok z vyvýšeného místa



Obr. 2.30: Poskok dopředu

## Kinetická analýza cviku

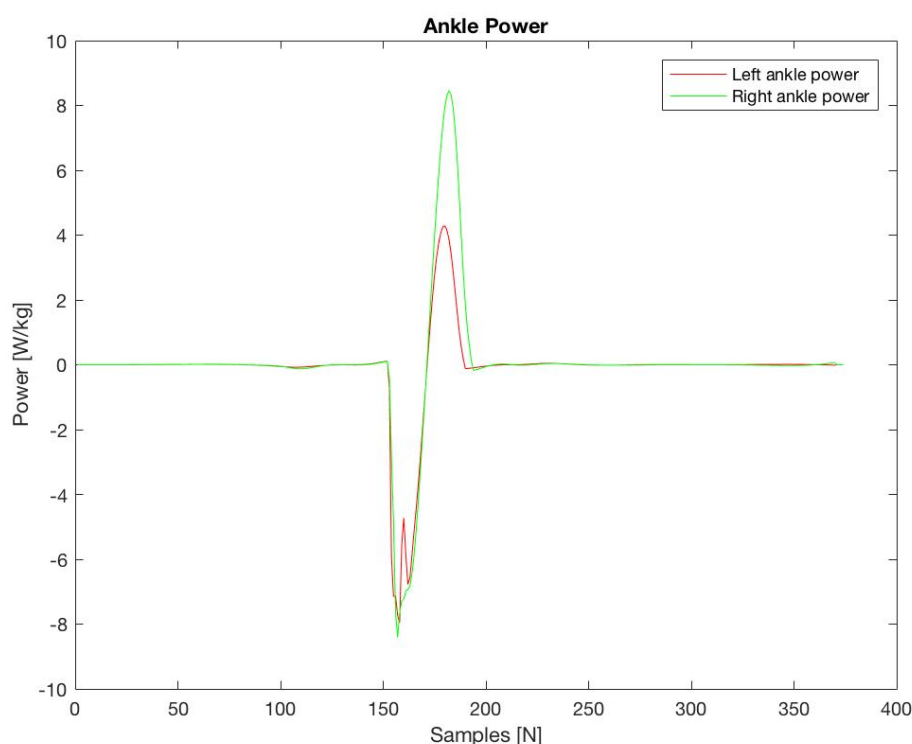
Tato kapitola se zabývá kinetickou analýzou silových veličin a momentů sil. Tyto veličiny byly zkoumány pro jednotlivé části dolní končetiny (kotník, koleno, kyčel) a zvláště pro levou a pravou nohu.

## Analýza silových veličin

Tato analýza byla provedena ve vertikále a podle umístění markerů na dolní končetině ji dělíme na tři části: kotník, koleno, kyčel (dále ankle power, knee power, hip power). Testovaná osoba cvik provedla vždy pětkrát a vzhledem k tomu, že obě nohy pracovaly současně, neměly by být větší rozdíly mezi získanými hodnotami jednotlivých dolních končetin.

## AnklePower

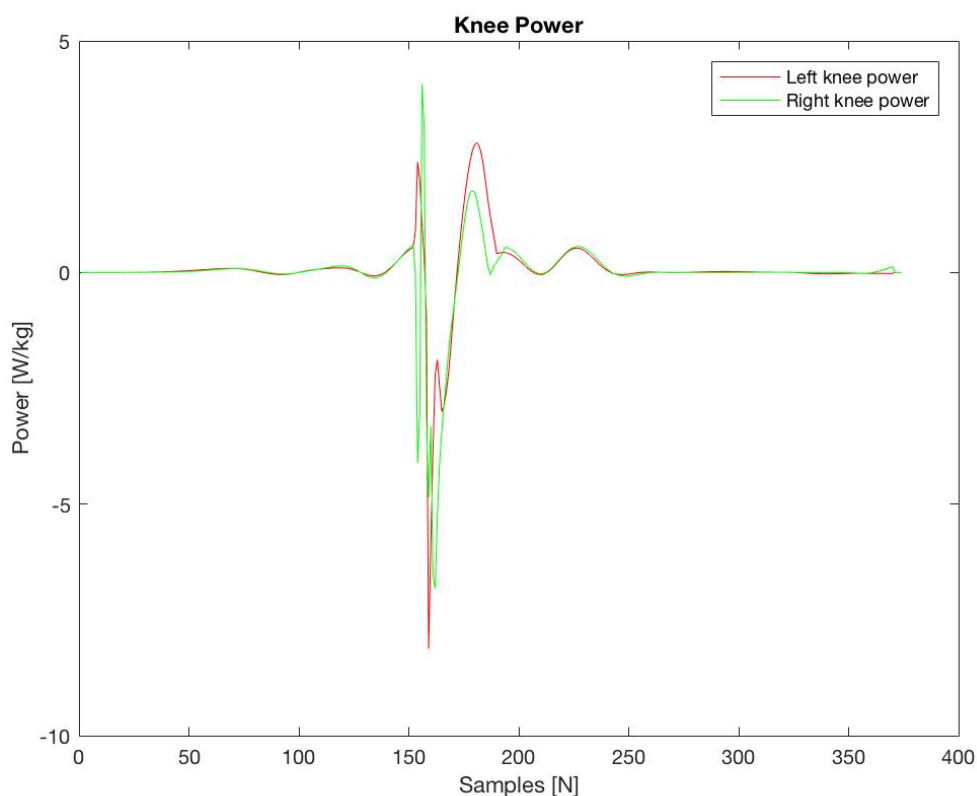
Detekce lokálních extrémů ankle power byla provedena pomocí funkce *AnklePower*. V následujícím grafu je vykreslený ankle power pro pravou a levou dolní končetinu. Lokální extrémy jsou pro levou nohu: -7,9530 W/kg, 4,2875 W/kg a pro pravou nohu: -8,3988 W/kg, 8,4590 W/kg.



Obr. 2.31: Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1

## Knee Power

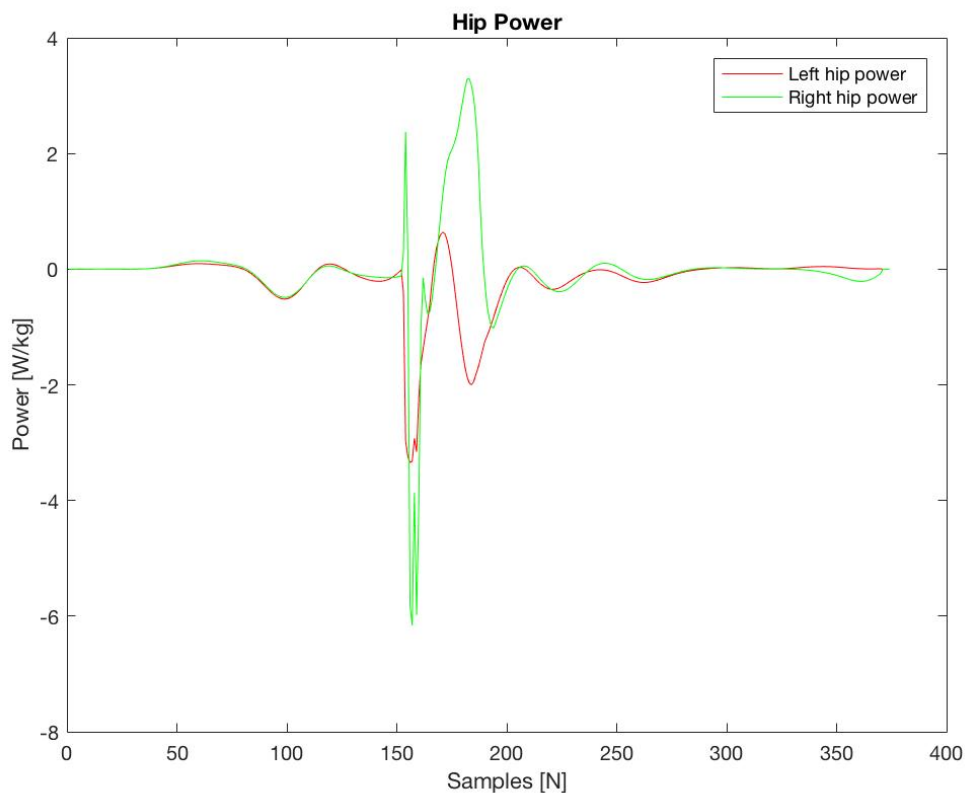
Analýza knee power probíhala za pomoci funkce *KneePower*. V následujícím grafu je vykreslena zmíněná veličina pro každou dolní končetinu. První maximum odpovídající odrazu je 2,7996 W/kg pro levé koleno a 4,0625 W/kg pro pravé koleno. Druhé maximum odpovídající dopadu je 1,2362 W/kg (levá noha) a 0,5614 W/kg (pravá noha).



Obr. 2.32: Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1

## Hip Power

Analýza hip power probíhala podobně jako předchozí dvě analýzy, ale byla použita funkce *HipPower*. V následujícím grafu je vykreslena veličina hip power pro obě kyčle. Lokální extrémy tohoto signálu jsou: 0,6410 W/kg, 0,0324 W/kg pro levou dolní končetinu a 3,2913 W/kg, 1,9676 W/kg pro pravou.



Obr. 2.33: Ukázka signálu Hip Power pacienta č.1

Analýza popsaná v předcházejících podkapitolách byla aplikována na všechny signály od všech pacientů. Následující tabulka znázorňuje lokální extrémy a jejich průměry od prvního pacienta.

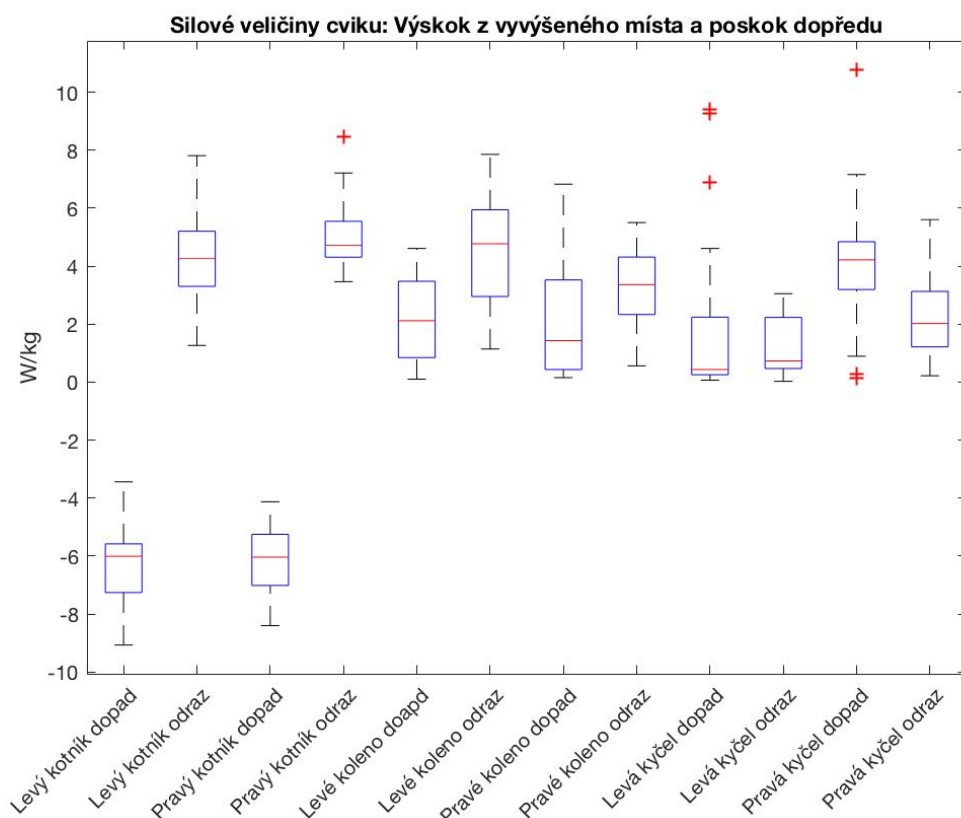
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-7.9530	4.2875	-8.3988	8.4590	2.7996	1.2362
1	2	-6.8497	5.6168	-6.9190	6.7915	3.4698	4.7758
1	3	-8.4229	5.3128	-7.7363	4.7202	0.1053	3.4439
1	4	-8.3833	5.1721	-7.3054	4.5960	0.9801	3.4204
1	5	-9.0699	3.1768	-6.5946	4.9749	2.7152	1.7528
PRŮMĚR		-8.1358	4.7132	-7.3908	5.9083	2.0140	2.9258
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	4.0625	0.5614	0.6410	0.0324	3.2913	1.9676
1	2	3.3423	2.3920	1.2331	0.0347	3.5568	2.5795
1	3	0.1870	2.1620	0.2618	0.4883	3.8737	1.6871
1	4	0.6447	3.5848	0.1986	0.5682	4.0347	2.1068
1	5	2.8985	1.5270	0.3606	0.0270	3.0789	2.0253
PRŮMĚR		2.2270	2.0454	0.5390	0.2301	3.5671	2.0733

Tab. 2.7: Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1

Průměr hodnot obou lokálních extrémů je nižší u levého kotníku (-8,1358 W/kg, 4,7132 W/kg), než u pravého (-7,3908 W/kg, 5,9083 W/kg). Stejně je tomu v případě kyčlí, kde jsou výrazně vyšší hodnoty pravé kyčle (3,5671 W/kg, 2,0733 W/kg) než levé kyčle (0,5390 W/kg, 0,2301 W/kg). Knee power má podobně jako ankle power vyšší čísla prvního maxima u levé dolní končetiny (levá: 2,0140 W/kg, pravá: 2,2270 W/kg) a naopak tomu je u druhého maxima (levá: 2,9258 W/kg, pravá: 2,0454 W/kg).

Největší rozdíly jsou u odrazu i dopadu kyčlí, kde jsou daleko vyšší hodnoty pravé nohy. Při tomto cviku testovaná osoba přetěžovala pravou kyčel. V případě více chybných opakování tohoto cviku by mohlo dojít ke zranění této partie těla.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicevého grafu. Velikost mediánu u dopadu a odrazu levého kotníku je -6,0086 W/kg a 4,2609 W/kg a u pravého -6,039 W/kg a 4,7202 W/kg. Medián hodnot obou lokálních maxim je levého a pravého kotníku je: 4,7758 W/kg, 2,1216 W/kg a 3,3618 W/kg, 1,4317 W/kg. U kyčle je hodnota mediánu při dopadu a odrazu 0,4345 W/kg a 0,7317 W/kg (levá kyčel), 4,2177 W/kg a 2,0253 W/kg (pravá kyčel).



Obr. 2.34: Silové veličiny cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu

Největší rozpětí hodnot je u dopadu pravého kolene a naopak nejmenší je u od-



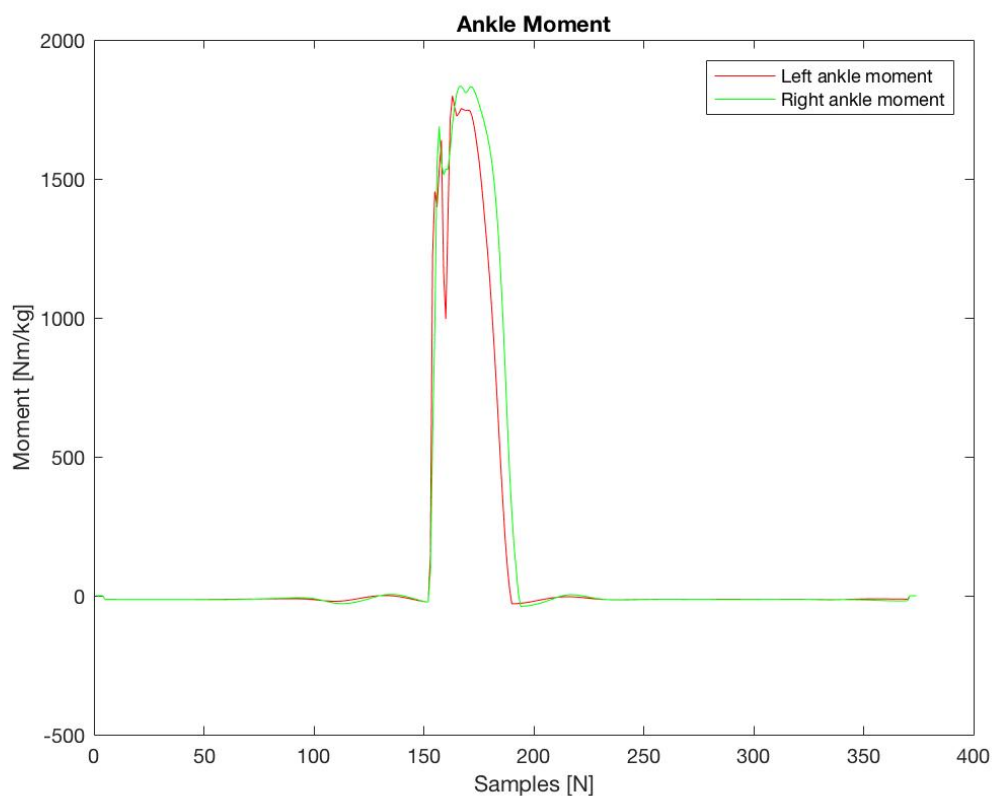
razu pravého kotníku. Nejvíce odlehlých hodnot je u dopadu obou kyčlí.

### Analýza momentů sil

Tato analýza byla provedena v ose x a dělíme ji na tři části, podle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel (dále: ankle moment, knee moment, hip moment).

#### Ankle Moment

Pomocí funkce *AnkleMoment* byla provedena analýza momentů sil. V následujícím grafu je vyobrazený ankle moment. První maximum signálu je pro levý kotník 1799,0 Nm/kg a 1833,3 Nm/kg pro pravý. Druhý lokální extrém, který odpovídá odrazu je 202,8 Nm/kg (levá noha) a 814,5 Nm/kg (pravá noha).

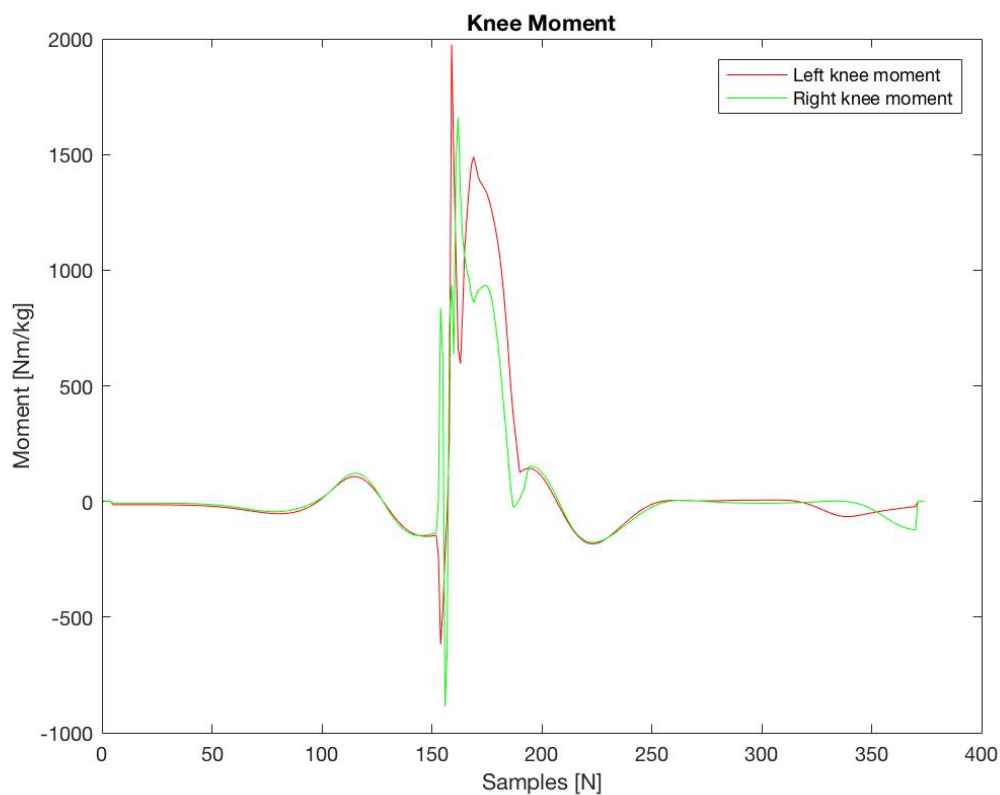


Obr. 2.35: Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1

#### Knee Moment

Tato analýza probíhala podobně jako předchozí, ale byla použita funkce *KneeMoment*. Následující graf vyobrazuje knee moment. Lokální maxima tohoto sig-

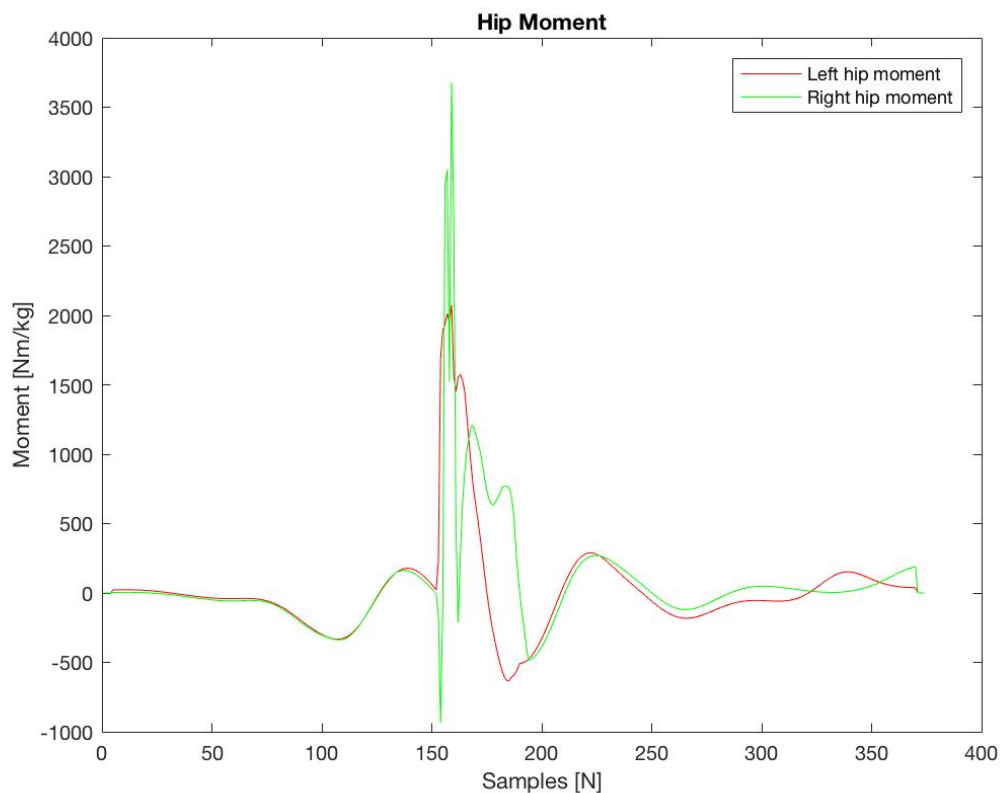
nálu jsou 1974,8 Nm/kg, 379,4 Nm/kg pro levou dolní končetinu a 1659,7 Nm/kg, 152,0 Nm/kg pro pravou dolní končetinu.



Obr. 2.36: Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1

## Hip Moment

Analýza momentů sil pro kyčel probíhala pomocí funkce *HipMoment*. Graf vykresluje momenty sil kyčle pro obě dolní končetiny. První maximum, které odpovídá dopadu nohy je 2076,6 Nm/kg (levá), 3677,3 Nm/kg (pravá). Druhé maximum odpovídající odrazu nohy je 289,5 Nm/kg (levá) a 604,8 Nm/kg (pravá).



Obr. 2.37: Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1

Analýza jednotlivých částí dolních končetin byla aplikována na všechna data z měření od každého pacienta. Následující tabulka obsahuje hodnoty lokálních maxim signálů a jejich průměrů momentů sil prvního pacienta.

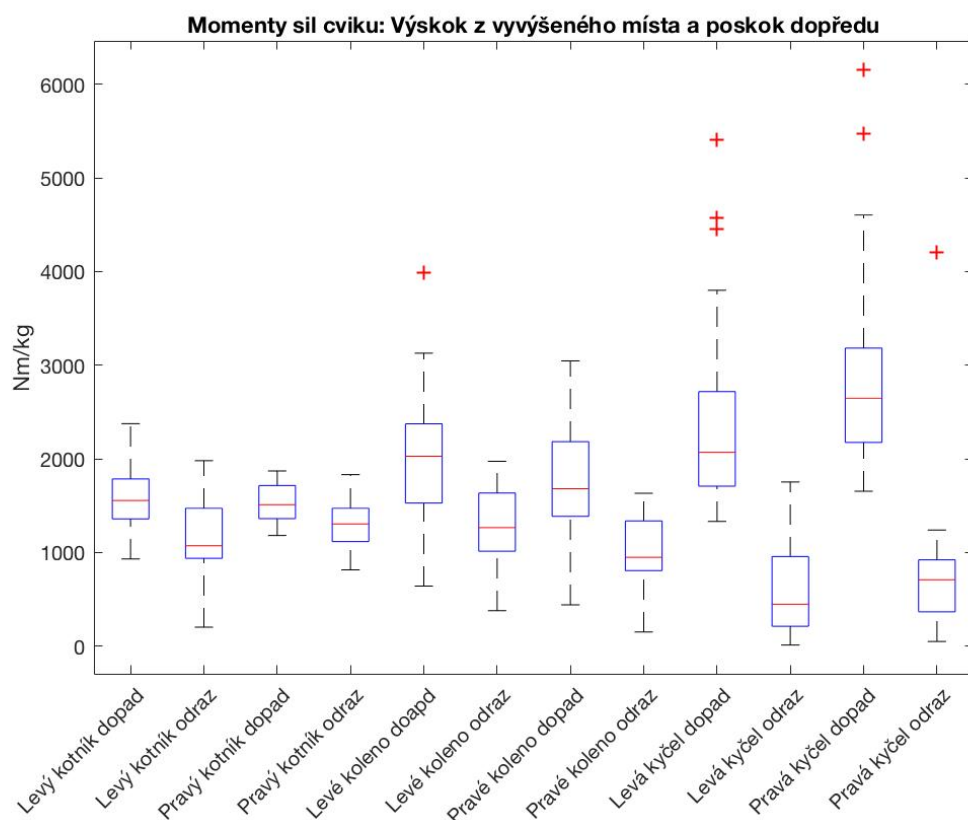
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	1799.0	202.8	1833.3	814.5	1974.8	379.4
1	2	1733.0	1461.5	1619.6	1395.6	2896.7	1384.6
1	3	1638.9	1979.7	1797.1	1830.7	2027.5	1718.8
1	4	1735.0	1751.0	1430.3	1383.0	2283.5	1612.0
1	5	1979.2	1079.9	1649.0	1566.1	1872.9	1055.1
PRŮMĚR		1777.0	1295.0	1665.9	1398.0	2211.1	1230.0
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	1659.7	152.0	2076.6	289.5	3677.3	604.8
1	2	2008.4	858.7	2189.3	222.9	5473.8	709.6
1	3	1369.9	1033.6	1929.7	303.7	2749.8	688.7
1	4	1316.0	939.3	2069.6	289.4	2761.4	722.0
1	5	1331.4	996.2	2426.0	253.6	2644.6	743.4
PRŮMĚR		1537.1	796.0	2138.2	271.8	3461.4	693.7

Tab. 2.8: Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1

Průměr hodnot obou lokálních extrémů signálu z markerů na kyčlích vykazuje vyšší číslo u pravé dolní končetiny (3461,4 Nm/kg, 693,7 Nm/kg) než u levé dolní končetiny (2138,2 Nm/kg, 271,8 Nm/kg). Stejně tak druhé maximum u kotníku je vyšší u pravé nohy (pravá: 1398,0 Nm/kg, levá: 1295,0 Nm/kg). Naopak vyšší číslo průměrné hodnoty levé nohy je u obou lokálních extrémů kolen (levé koleno: 2211,1 Nm/kg, 1230,0 Nm/kg, pravé koleno: 1537,1 Nm/kg, 796,0 Nm/kg) a u prvního maxima ankle moment (levý kotník: 1777,0 Nm/kg, pravý kotník: 1665,9 Nm/kg).

Největší rozdíly průměrů obou lokálních extrémů jsou u odrazu i dopadu kyčlí a kolen. U kyčlí jsou daleko vyšší hodnoty u pravé dolní končetiny. Tato část těla byla při tomto cviku přetěžována a stejně je tomu tak u kolen.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Medián hodnot lokálních extrémů signálu u kotníku je u levého: 1555 Nm/kg (první maximum), 1071,7 Nm/kg (druhé maximum) a u pravého: 1510 Nm/kg, 1304,9 Nm/kg. Medián hodnot dopadu levého a pravého kolene je 2027,5 Nm/kg a 1681 Nm/kg a odrazu levého a pravého kolene je 1265,4 Nm/kg a 948,5 Nm/kg. Při prvním maximu je hodnota mediánu u kyčle 2069,6 Nm/kg (levá), 2646,9 Nm/kg (pravá) a při druhém maximu 447,4 Nm/kg (pravá), 709,6 Nm/kg (levá).



Obr. 2.38: Momenty sil cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu

Nejvíce odlehlých hodnot a také největší rozpětí je při dopadu levé kyčle, naopak nejmenší rozpětí je u dopadu pravého kotníku.

## 2.6 Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze

Dalším cvikem, který pacientky prováděly byl výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu. Samotný cvik je prováděn ze stoje na jedné noze na vyvýšeném místě a pokračuje do podřepu, kdy se koncentruje váha celého těla na plošku stojné nohy. Pokračuje se maximálním výskokem vpřed nad podložku a následuje dopad do podřepu na jedné noze, ze kterého byl proveden výskok. Z podřepu je proveden další výskok s posunem vpřed a z něj dopad do podřepu na jedné noze. Cvik končí opět ve stoji na jedné noze. Na následujícím obrázku lze vidět jednotlivé polohy cviku prováděné pacientkou.



Obr. 2.39: Výskok na jedné noze z vyvýšeného místa



Obr. 2.40: Poskok dopředu na jedné noze

## Kinetická analýza cviku

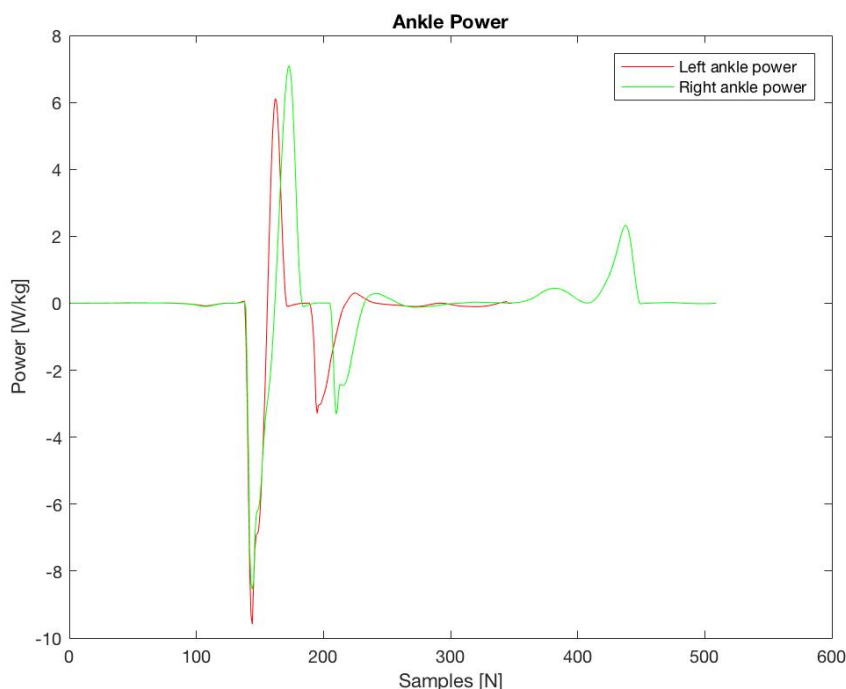
Následující strany se zabývají kinetickou analýzou silových veličin a momentů sil, které byly zkoumány zvláště pro levou a pravou dolní končetinu a jejich jednotlivé části (kotník, koleno, kyčel).

### Analýza silových veličin

Analýzu silových veličin dělíme podle polohy markerů na dolní končetině na tři části: kotník koleno kyčel (dále uvedené jako ankle power, knee power a hip power). Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu prováděla každá testovaná osoba pětkrát na každou nohu, což může způsobit že se hodnoty pro pravou a levou nohu mohou více lišit než u cviku, kde probíhalo měření pro obě dolní končetiny současně. Průměrná hodnota by však měla být v nejlepším případě identická.

### AnklePower

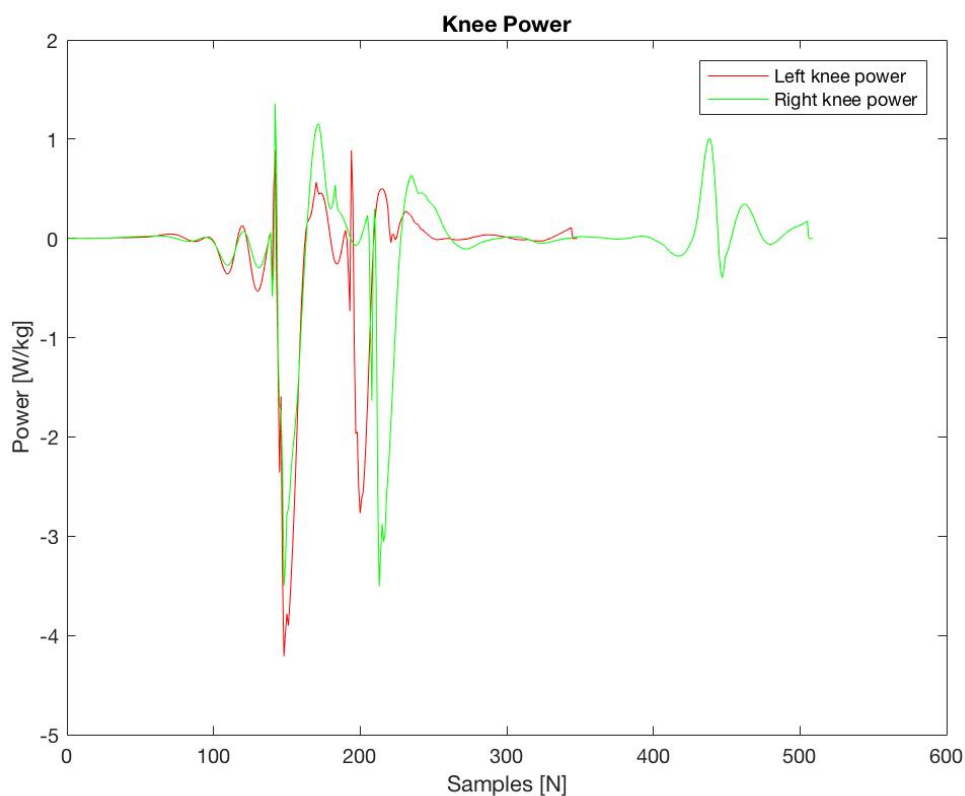
Analýza této veličiny byla provedena pomocí funkce *AnklePower* a je vyobrazena v následujícím grafu, kde na ose x je navzorkovaný čas a na ose y síla (power) v jednotkách W/kg. První maximum odpovídá dopadu dolní končetiny na podložku (levý kotník: -9,5884 W/kg, pravý kotník: -8,5457 W/kg) a druhé maximum odrazu (levý kotník: 6,1134 W/kg, pravý kotník: 2,3204 W/kg).



Obr. 2.41: Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1

## Knee Power

Tato analýza probíhala podobně jako ta předchozí, ale pomocí funkce *KneePower*. V následujícím grafu je vykreslena veličina knee power pro každou dolní končetinu. Lokální extrémy pro levou nohu jsou: 0,8896 W/kg, 0,8873 W/kg a pro pravou nohu: 1,3590 W/kg, 0,1773 W/kg.

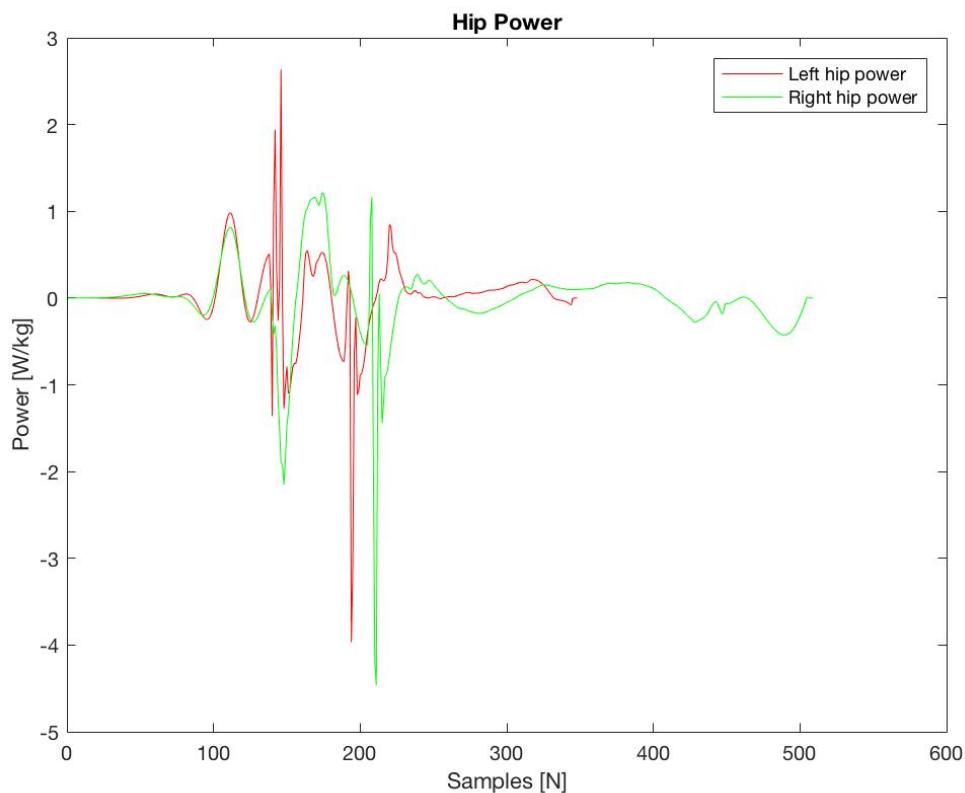


Obr. 2.42: Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1

## Hip Power

Detekce lokálních extrémů této veličiny byla provedena pomocí funkce *HipPower* a vykresluje ji následující graf. První maximum má pro levou nohu a pravou nohu hodnoty: 2,6346 W/kg a 0,3615 W/kg. Druhé maximum je pro levou kyčel 0,5493 W/kg a pro pravou kyčel 1,2155 W/kg.





Obr. 2.43: Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1

Analýza popsaná na předchozích stranách byla aplikována na všechna získaná data od všech pacientů. Následující tabulka obsahuje lokální extrémy a jejich průměry získané analýzou dat prvního pacienta.

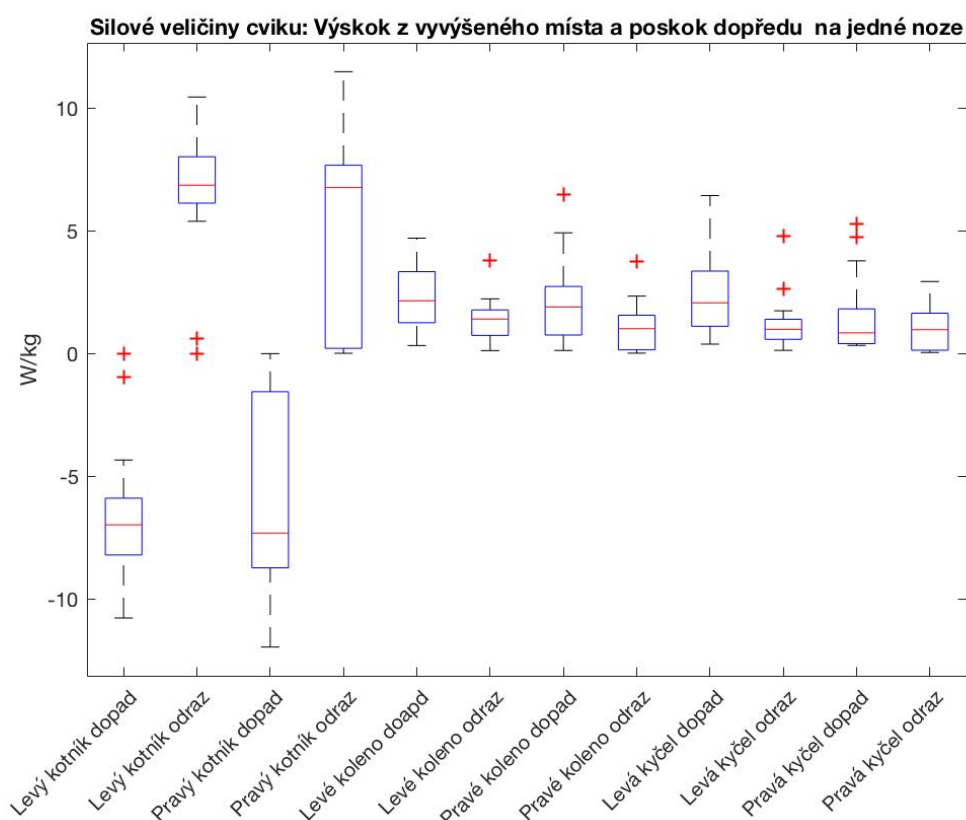
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-9.5884	6.1134	-8.5457	2.3204	0.8896	0.8873
1	2	-7.9430	5.4393	-0.0040	0.0510	1.3282	0.2677
1	3	-6.9857	5.3910	-8.2202	0.4362	0.8807	0.2964
1	4	-9.4930	6.4556	-8.8002	6.6584	1.0420	0.1182
1	5	-6.9596	6.8345	-7.8548	3.7918	1.9250	0.5741
PRŮMĚR		-8.1939	6.0468	-6.6850	2.6516	1.2131	0.4287
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	1.3590	0.1773	2.6346	0.5493	0.3615	1.2155
1	2	0.5689	0.0168	1.2881	0.4287	0.3581	0.0518
1	3	1.5275	1.0389	1.5891	0.1302	0.5925	1.2951
1	4	1.3189	1.0133	1.0878	0.1643	1.1903	0.5318
1	5	1.8973	0.4093	2.0607	0.4543	0.8975	0.4988
PRŮMĚR		1.3343	0.5311	1.7321	0.3454	0.6800	0.7186

Tab. 2.9: Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1

Průměrná hodnota je vyšší u dopadu i odrazu kotníků (levý: -8,1939 W/kg, 6,0468 W/kg, pravý: -6,6850 W/kg, 2,6516 W/kg). Stejný jev nastává u kyčlí kde jsou hodnoty obou maxim vyšší u levé nohy (1,7321 W/kg, 0,3454 W/kg) než u pravé nohy (0,6800 W/kg, 0,7186 W/kg). Naopak tomu je v případě kolen, kde jsou vyšší průměrné hodnoty pravé dolní končetiny (1,3343 W/kg, 0,5311 W/kg). U levého kolena jsou pak hodnoty maxim 1,2131 W/kg a 0,4287 W/kg.

Největší rozdíl v hodnotách pravé a levé nohy je u odrazu kotníků, kde je hodnota levého kotníku o jednotky W/kg vyšší. Větší rozdíl v průměrných hodnotách je také u dopadu kyčlí. Celkově byla v tomto cviku pacientem č. 1 více přetěžována levá kyčel a kotník.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Hodnota mediánu u dopadu a odrazu kotníků je: -6,9857 W/kg, 6,8673 W/kg (levá noha) a -7,3215 W/kg, 6,7646 W/kg (pravá noha). Medián hodnot prvního a druhého maxima kolene je u levé nohy 2,1482 W/kg, 1,4052 W/kg a u pravé 2,0684 W/kg, 1,0133 W/kg. Hodnota mediánu u kyčle je při dopadu levé a pravé nohy 2,0684 W/kg a 0,8438 W/kg a při odrazu 1,4052 W/kg a 0,9736 W/kg.



Obr. 2.44: Silové veličiny cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze

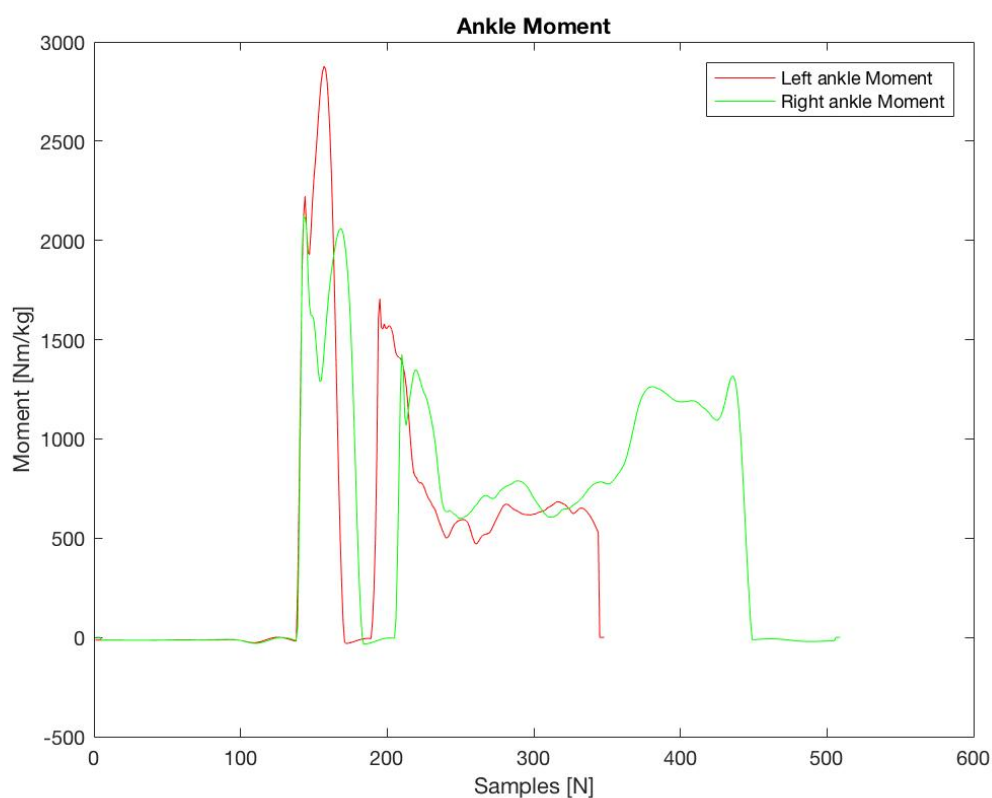
Největší rozpětí hodnot je u prvního a druhého maxima pravého kotníku. Naopak nejmenší rozpětí mají hodnoty druhého maxima levé kyčle.

### Analýza momentů sil

Analýzu momentů sil dělíme na tři části: kotník, koleno a kyčel (dále ankle moment, knee moment, hip moment) podle toho, kde na dolní končetině byly umístěny markery.

### Ankle Moment

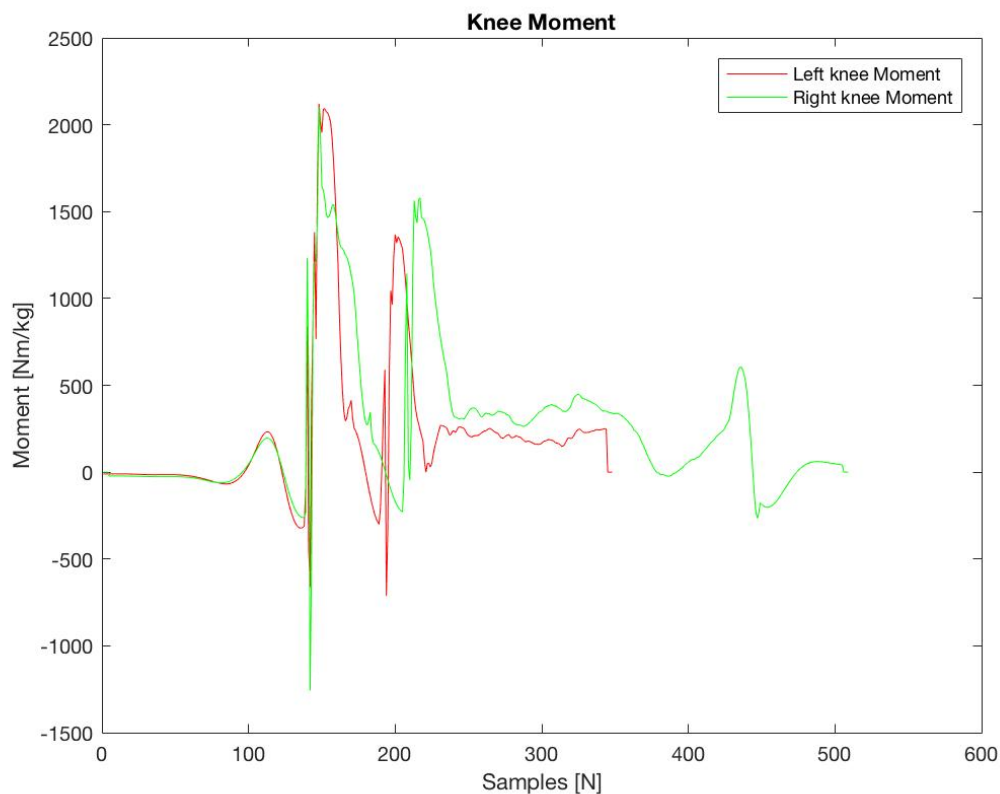
Analýza této veličiny byla provedena pomocí funkce *AnkleMoment* a je zobrazena na následujícím grafu. Osa x je navzorkovaný čas a osa y je moment síly v jednotkách Nm/kg. První lokální extrém tohoto signálu je 2876,8 Nm/kg pro levý kotník a 2125,5 Nm/kg pro pravý. Druhé maximum je pro levou a pravou dolní končetinu 1706,8 Nm/kg a 1317,4 Nm/kg.



Obr. 2.45: Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1

## Knee Moment

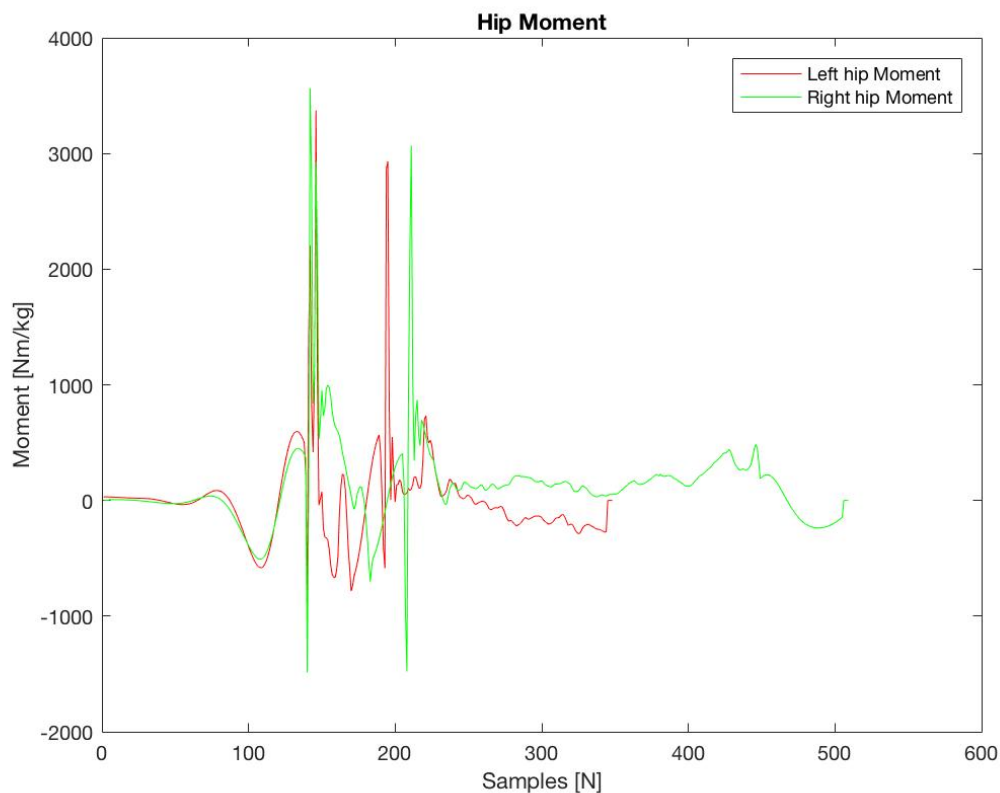
Analýza veličiny knee moment probíhala podobně jako předchozí, ale za použití funkce *KneeMoment*. V následujícím grafu je tato veličina vykreslena pro obě kolena. Lokální extrémy tohoto signálu jsou: 2121,1 Nm/kg a 1368,0 Nm/kg pro levou nohu a 2101,2 Nm/kg a 605,4 Nm/kg pro pravou nohu.



Obr. 2.46: Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1

## Hip Moment

Detekce lokálních extrémů veličiny hip moment byla provedena pomocí funkce *HipMoment*. V následujícím grafu je vykreslena pro pravou a levou dolní končetinu. První a druhé maximum tohoto signálu je 3371,8 Nm/kg a 2932,4 Nm/kg pro levou kyčel a 3564,2 Nm/kg a 3068,4 Nm/kg pro pravou kyčel.



Obr. 2.47: Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1

Analýza popsaná na předcházejících stranách byla aplikována na všechna data od každého pacienta. Následující tabulka obsahuje lokální extrémy a jejich průměry od prvního pacienta.

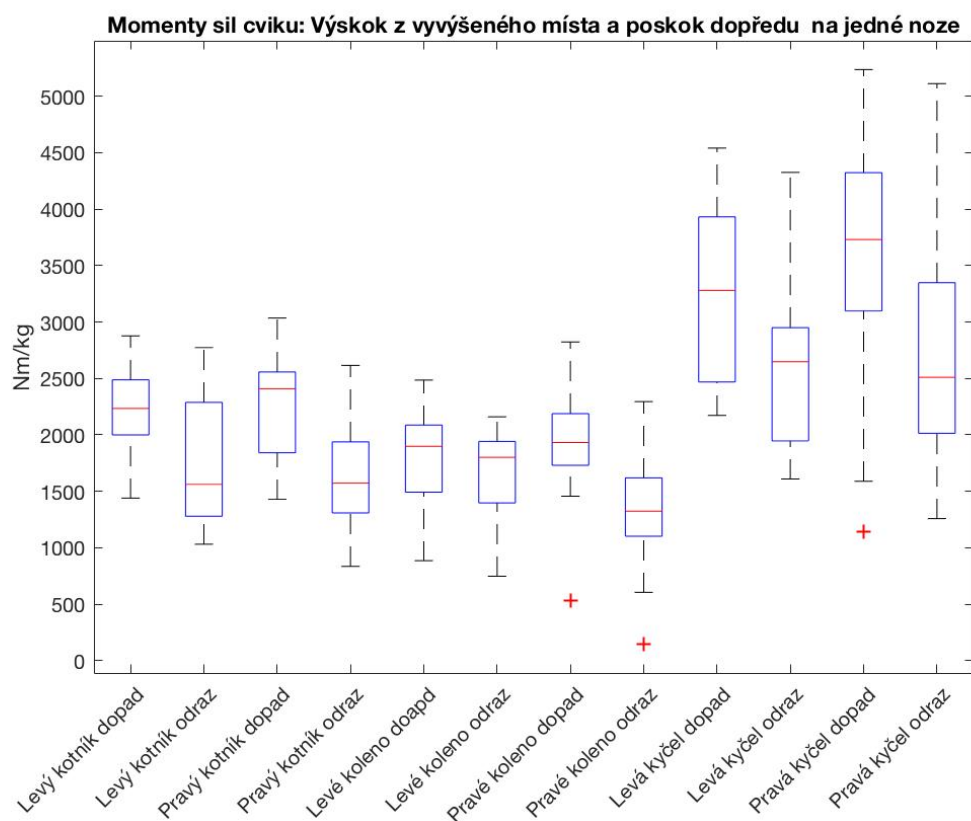
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2876.8	1706.8	2125.5	1317.4	2121.1	1368.0
1	2	2412.9	1227.7	1429.3	1413.2	1782.2	1705.8
1	3	2505.0	1615.7	2766.6	1835.7	2006.7	1925.5
1	4	2568.0	1229.7	2543.6	1382.4	1603.1	1809.8
1	5	2218.3	1031.2	2490.8	1220.8	2050.4	2118.3
PRŮMĚR		2516.2	1362.2	2271.2	1433.9	1912.7	1785.5
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2101.2	605.4	3371.8	2932.4	3564.2	3068.4
1	2	2823.6	1632.1	3990.6	3492.9	3267.4	2007.0
1	3	1804.9	1205.8	4540.88	4281.1	2888.8	2037.2
1	4	2145.5	987.2	3413.6	2956.3	4687.7	4190.8
1	5	1882.1	1096.7	3279.9	2817.9	2596.8	3624.0
PRŮMĚR		2151.5	1105.4	3719.4	3296.1	3401.0	2985.5

Tab. 2.10: Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1

Průměr hodnot prvního maxima je vyšší u levého kotníku (2516,2 Nm/kg) než u pravého (2271,2 Nm/kg) a naopak je to u průměru hodnot druhého maxima u kotníku (levá noha: 1362,2 Nm/kg, pravá noha: 1433,9 Nm/kg). Stejně tak je tomu v případě průměru hodnot prvního lokálního maxima u kolene, kde je hodnota u levé dolní končetiny (1912,7 Nm/kg) nižší, než u pravé dolní končetiny (2151,5 Nm/kg). Průměr hodnot druhého maxima kolene je vyšší u levé nohy (1785,5 Nm/kg), než u pravé nohy (1105,4 Nm/kg). U kyčlí je průměr hodnot u obou lokálních maxim vyšší u levé dolní končetiny (levá: 3719,4 Nm/kg, 3296,1 Nm/kg, pravá: 3401,0 Nm/kg, 2985,5 Nm/kg).

Největší rozdíly průměrů hodnot mezi levou a pravou dolní končetinou jsou u odrazu kolene a kyčle, kde jsou hodnoty mnohem vyšší u pravé nohy. Při tomto cviku testovaná osoba přetěžovala tyto části těla a v případě opakování tohoto chybného pohybu by mohlo dojít ke zranění těchto partií dolní končetiny.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Velikost mediánu u dopadu a odrazu levého kotníku je 2234,8 Nm/kg a 1561,7 Nm/kg a pravého 2408,9 Nm/kg a 1572,7 Nm/kg. U kolena je hodnota mediánu při dopadu a odrazu 1898,3 Nm/kg a 1801,2 Nm/kg (levá noha), 1932 Nm/kg a 1324,5 Nm/kg (pravá noha). Medián hodnot obou lokálních maxim levé a pravé kyčle je: 3279,9 Nm/kg, 2674,9 Nm/kg a 3731 Nm/kg, 2510 Nm/kg.



Obr. 2.48: Momenty sil cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze

Největší rozpětí hodnot lze pozorovat u dopadu obou kyčlí a nejmenší u dopadu pravého kotníku.

## 2.7 Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa

Posledním cvikem, který měly pacientky za úkol provést byl výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa.

Tento cvik je prováděn ze stoje s váhou na jedné noze na vyvýšeném místě, následuje podřep, kdy se koncentruje váha celého těla na plosku stojné nohy. Pokračuje se maximálním výskokem vpřed nad podložku a poté dopadem do podřepu na jedné noze, ze kterého byl proveden výskok. Cvik končí ve stoji na jedné noze.

Poslední cvik byl pro pacientky nejnáročnější, jelikož je pro ně obtížné po výskoku udržet rovnováhu na jedné noze. Spousta z nich tak nedokázala precizně provést cvik podle to jak byl definovaný a nesetřvala v poslední pozici, kterou nebyly schopny udržet stabilní.

Na následujícím obrázku lze vidět jednotlivé polohy cviku prováděné pacientkou.



Obr. 2.49: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa

### Kinetická analýza cviku

Následující podkapitoly se zabývají kinetickou analýzou silových veličin a momentů sil, které byly zkoumány zvlášť pro každou dolní končetinu zvlášť.

### Analýza silových veličin

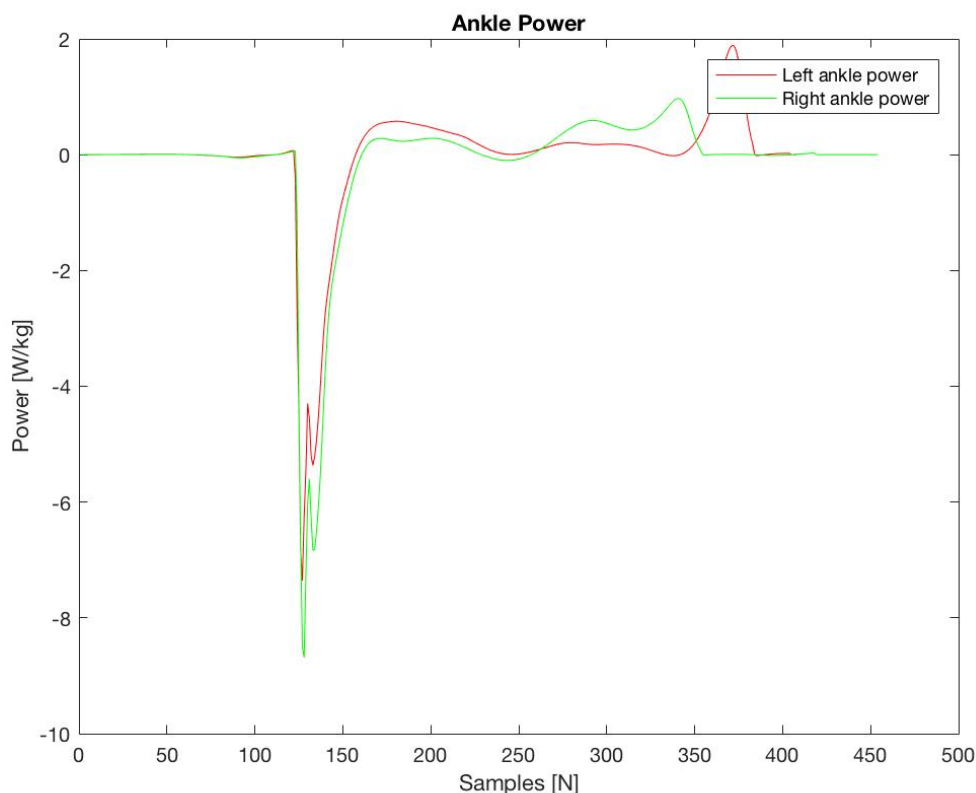
Analýzu silových veličin dělíme na tři části podle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno a kyčel (dále ankle power, knee power, hip power). Testovaná



osoba provedla výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa vždy pětkrát na každou nohu.

### Ankle Power

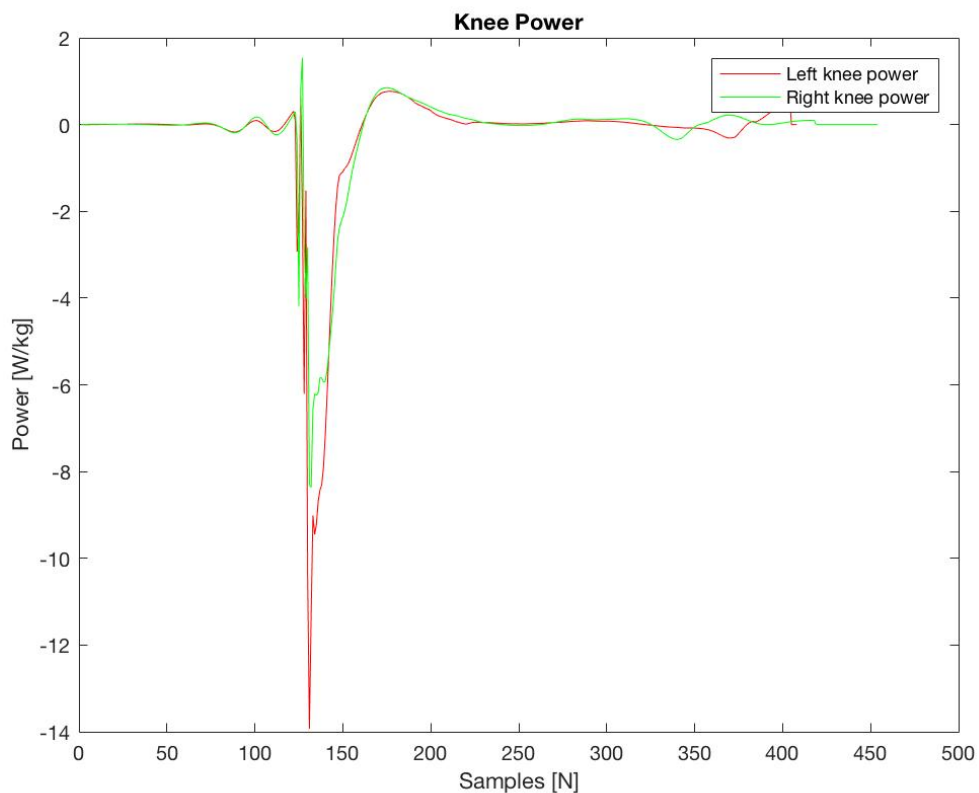
Analýza této veličiny byla provedena pomocí funkce *AnklePower* a je vyobrazena v následujícím grafu. Lokální extrémy jsou pro levou nohu: -7,3567 W/kg, 1,8855 W/kg a pro pravou nohu: -8,6856 W/kg, 0,9705 W/kg.



Obr. 2.50: Ukázka signálu Ankle Power pacienta č. 1

### Knee Power

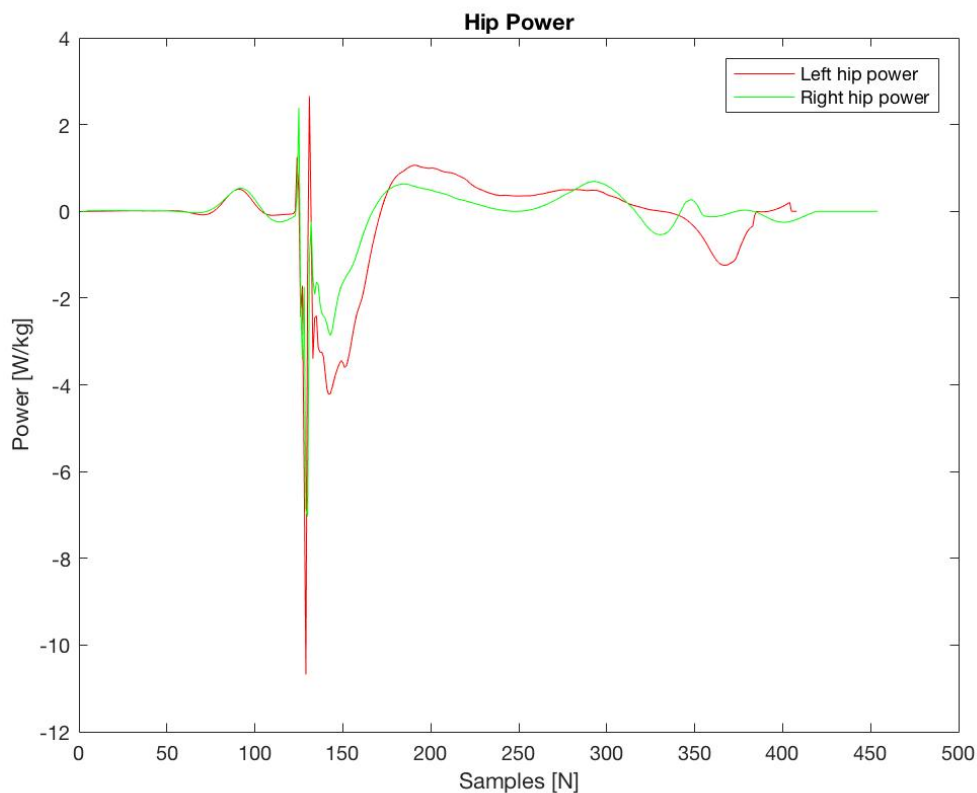
Detekce lokálních extrémů u veličiny knee power probíhala za pomoci funkce *KneePower*. V následujícím grafu je vykreslena zvlášť pro každou dolní končetinu. První maximum je 0,7681 W/kg pro levé koleno a 1,5370 W/kg pro pravé koleno. Druhý lokální extrém signálu je 0,3165 W/kg (levá noha) a 0,1348 W/kg (pravá noha).



Obr. 2.51: Ukázka signálu Knee Power pacienta č. 1

## Hip Power

Analýza hip power probíhala podobně jako předchozí dvě analýzy, ale byla použita funkce *HipPower*. V následujícím grafu je tato veličina vykreslena. Lokální extrémy tohoto signálu jsou 2,6549 W/kg, 0,9983 W/kg pro levou kyčel a 2,3843 W/kg, 0,6913 W/kg pro pravou kyčel.



Obr. 2.52: Ukázka signálu Hip Power pacienta č. 1

Předchozí analýzy byla aplikovány na všechna data od každého pacienta a byly vyhodnoceny. Následující tabulka obsahuje lokální extrémy a jejich průměry získané analýzou dat prvního pacienta.

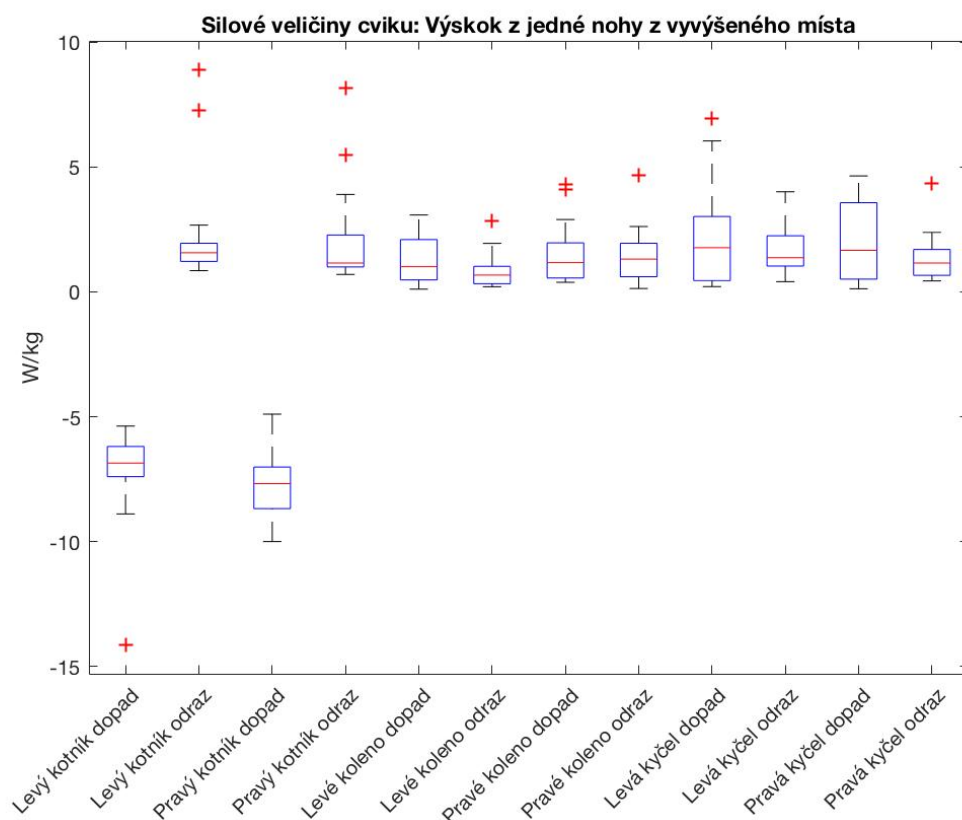
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-6.7614	1.5547	-6.0984	1.0754	3.0537	0.2386
1	2	-5.8626	0.8525	-9.9987	1.1963	0.9244	1.0132
1	3	-7.3567	1.8855	-8.6856	0.9705	0.7681	0.3165
1	4	-7.2249	1.5523	-9.3951	1.1921	0.1107	0.6447
1	5	-6.8563	1.8029	-9.4116	1.1373	0.3470	0.2524
PRŮMĚR		-6.8124	1.5296	-8.7179	1.1143	1.0408	0.4931
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	1.0677	0.2774	2.5098	2.9171	0.4461	0.4414
1	2	4.3235	0.4923	1.9484	1.5833	3.3573	0.6656
1	3	1.5370	0.1348	2.6549	0.9983	2.3843	0.6913
1	4	1.2244	0.9268	0.4639	1.3718	0.7046	1.0482
1	5	2.8989	1.8441	1.6467	1.2746	2.0136	0.5467
PRŮMĚR		2.2103	0.7351	1.8447	1.6290	1.7812	0.6786

Tab. 2.11: Tabulka hodnot silových veličin pacienta č.1

Průměr hodnot prvního i druhého lokálního extrému odrazu i dopadu kotníků je vyšší u levé dolní končetiny (-6,8124 W/kg, 1,5296 W/kg), než u pravé dolní končetiny (-8,7179 W/kg, 1,1143 W/kg). Stejně je tomu tak v případě kyčlí, kde první i druhé maximum je mnohem vyšší u levé kyčle (1,8447 W/kg, 1,6290 W/kg), než u pravé kyčle (1,7812 W/kg, 0,6786 W/kg). Přesně opačný jev nastává u průměru lokálních extrémů u kolen, kde je vyšší hodnota u pravé nohy (levá: 1,0408 W/kg, 0,4931 W/kg, pravá: 2,2103 W/kg, 0,7351 W/kg).

Největší rozdíl je v průměru lokálních extrémů pravé a levé kyčle, zvláště pak u druhého extrému, kde je daleko vyšší hodnota u levé kyčle. Tato část těla byla při cviku přetěžována.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicevého grafu. Hodnota mediánu prvního a druhého maxima kotníku je -6,8563 W/kg a 1,5673 W/kg pro levou nohu a -7,6765 W/kg a 1,551 W/kg pro pravou nohu. Medián hodnot prvního a druhého lokálního maxima levého kolene je 1,0109 W/kg a 0,6728 W/kg a pravého kolene 1,1691 W/kg a 1,3125 W/kg. Při prvním lokálním maximu je hodnota mediánu u kyčle 1,7711 W/kg (levá), 1,1572 W/kg (pravá) a při druhém lokálním maximu je hodnota mediánu u kyčle 1,6616 W/kg (levá) a 1,1572 W/kg (pravá).



Obr. 2.53: Silové veličiny cviku: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa

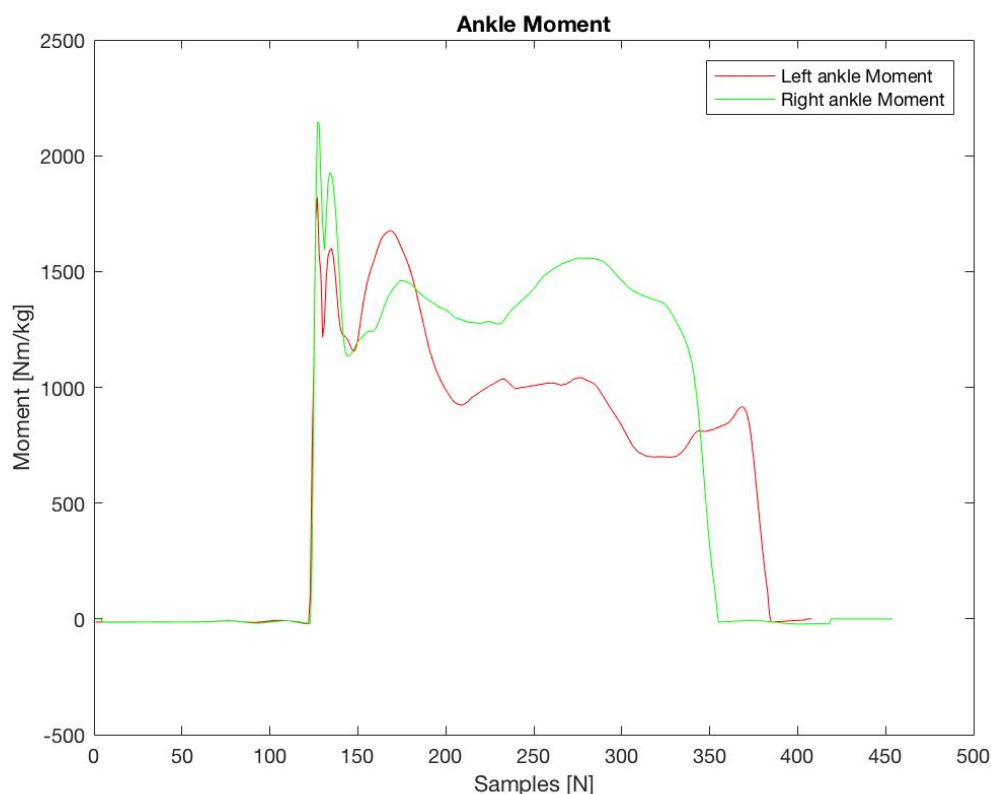
Největší rozpětí hodnot je u prvního maxima levé kyčle a naopak nejnižší rozpětí je u druhého maxima levého kotníku. Nejvíce odlehých hodnot je u druhého maxima pravého kolene.

## Analýza momentů sil

Analýzu momentů sil dělíme podle polohy markerů na dolní končetině na tři části: kotník, koleno a kyčel (dále ankle moment, knee moment, hip moment). Výskok z vyvýšeného místa z jedné nohy prováděla každá pacientka pětkrát na každou nohu (celkem 10 měření). Hodnoty se mohou více lišit pro pravou a levou dolní končetinu, jelikož se neměřily ve stejném časovém okamžiku, ale jejich průměrná hodnota ze všech měření by neměla být příliš odlišná.

## Ankle Moment

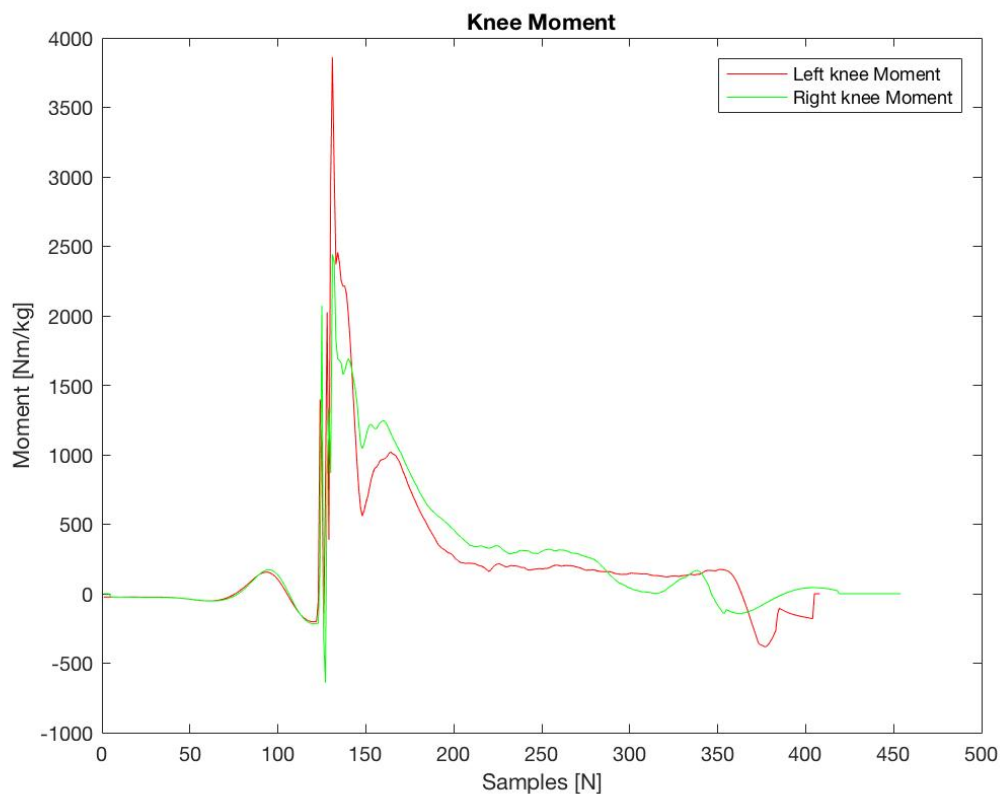
Analýza této veličiny byla provedena pomocí funkce *AnkleMoment* a je vyobrazena v následujícím grafu, kde na ose x je navzorkovaný čas a na ose y je moment síly v jednotkách Nm/kg. Lokální extrémy tohoto signálu jsou: 1820,0 Nm/kg, 1041,3 Nm/kg pro levý kotník a 2146,0 Nm/kg, 1558,3 Nm/kg pro pravý kotník.



Obr. 2.54: Ukázka signálu Ankle Moment pacienta č. 1

## Knee Moment

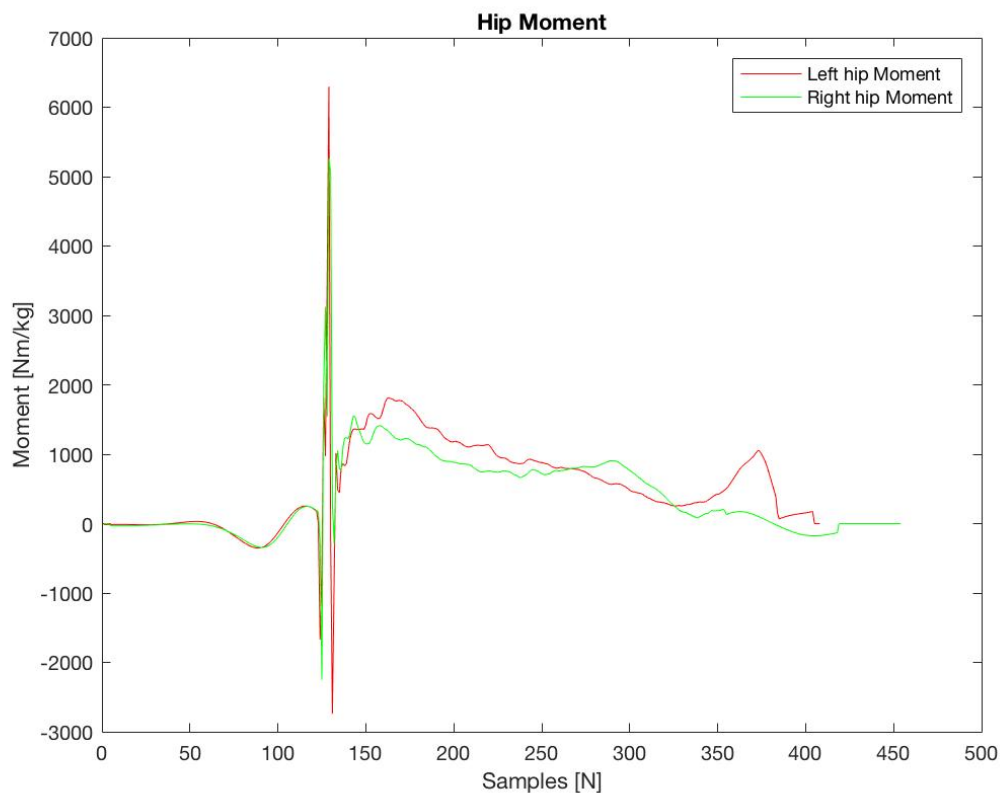
Detekce lokálních extrémů u této veličiny probíhala pomocí funkce *KneeMoment* a je vykreslena v následujícím grafu. První maximum má pro levou a pravou dolní končetinu hodnoty: 3862,3 Nm/kg, 1021,1 Nm/kg. Druhé maximum je pro levé koleno 2443,3 Nm/kg a pro pravé koleno je 328,0 Nm/kg.



Obr. 2.55: Ukázka signálu Knee Moment pacienta č. 1

## Hip Moment

Tato analýza probíhala pomocí funkce *HipMoment*. V následujícím grafu je vykreslen hip moment pro levou i pravou kyčel. Hodnoty lokálních extrémů v tomto signálu jsou: 6296,8 Nm/kg a 1186,9 Nm/kg (levá kyčel), 5263,8 Nm/kg, 905,4 Nm/kg (pravá kyčel).



Obr. 2.56: Ukázka signálu Hip Moment pacienta č. 1

Předchozí analýzy byly aplikovány na všechna data od každého pacienta a následně vyhodnoceny. V následující tabulce jsou maxima signálů a jejich průměry od prvního pacienta.

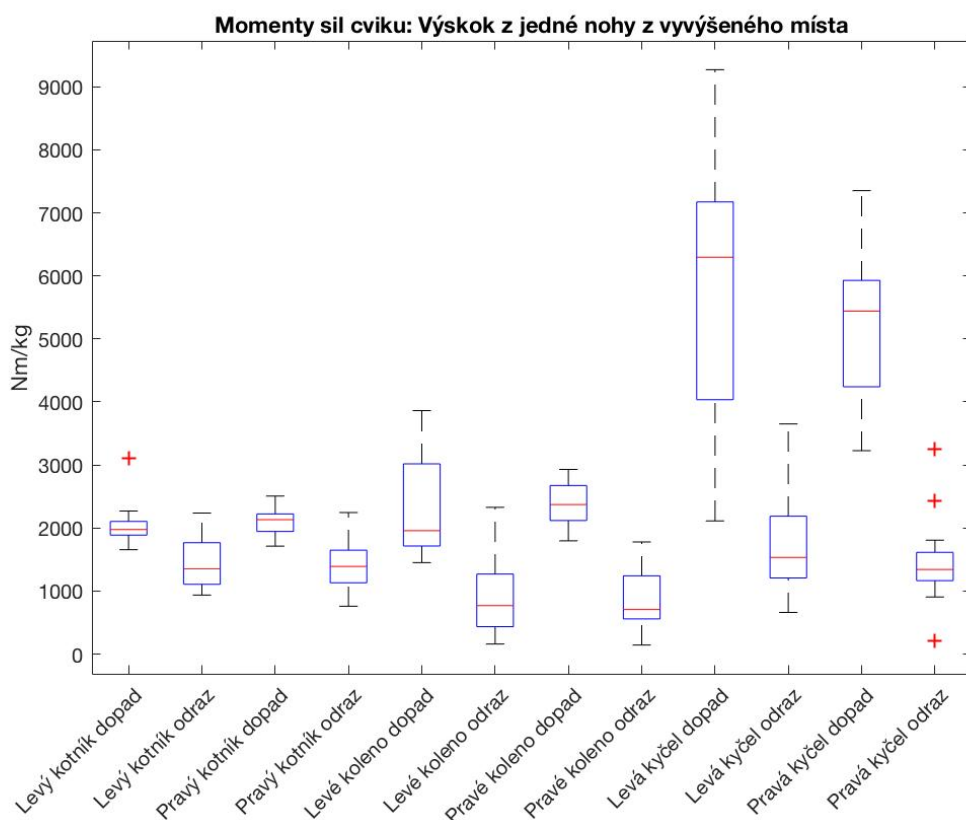
PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2016.0	1678.8	1912.6	1796.2	3347.9	1478.8
1	2	1713.6	1587.9	2507.9	1788.3	3071.9	787.5
1	3	1820.0	1041.3	2146.0	1558.3	3862.3	1021.1
1	4	1938.2	1427.6	2233.2	1247.6	3106.4	553.2
1	5	1900.6	1276.4	2195.9	1131.3	2729.6	300.3
PRŮMĚR		1877.7	1402.4	2199.1	1504.3	3223.6	828.2
		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2120.8	553.3	9271.7	2241.2	4657.4	1404.9
1	2	2438.1	706.4	8148.2	1534.6	5134.0	1342.5
1	3	2443.3	328.0	6296.8	1186.9	5263.8	905.4
1	4	2698.0	1344.3	5046.1	1560.5	7176.5	1467.1
1	5	2816.1	1276.8	6298.6	1105.0	4445.3	1104.0
PRŮMĚR		2503.3	841.8	7012.3	1525.6	5335.4	1244.8

Tab. 2.12: Tabulka hodnot momentů sil pacienta č.1

Průměrná hodnota obou lokálních extrémů je vyšší u pravého kotníku (2199,1 Nm/kg, 1504,3 Nm/kg), než u levého kotníku (1877,7 Nm/kg, 1402,4 Nm/kg). Průměrná hodnota prvního maxima kolena je vyšší u levého kolene (levé: 3223,6 Nm/kg, pravé: 2503,3 Nm/kg), naopak u druhého maxima je vyšší hodnota u pravého kolene (levé: 828,2 Nm/kg, pravé: 841,8 Nm/kg). U kyčlí je průměr hodnot obou lokálních extrémů vyšší u levé dolní končetiny (7012,3 Nm/kg, 1525,6 Nm/kg), než u pravé (5335,4 Nm/kg, 1244,8 Nm/kg).

Největší rozdíly průměrů hodnot lokálních extrémů jednotlivých dolních končetin jsou u kyčlí, kde je tato hodnota daleko vyšší u levé nohy. Tuto část tedy pacientka více zatěžovala při vykonávání cviku.

Výsledky analýzy dat všech pacientů byly zaneseny do následujícího krabicového grafu. Hodnota mediánu prvního a druhého maxima je u levého kotníku 1353,8 Nm/kg a 1975,5 Nm/kg a u pravého kotníku 1390,1 Nm/kg a 2132,3 Nm/kg. Medián hodnot prvního a druhého lokálního extrému u kolene je 1958,9 Nm/kg a 769,8 Nm/kg (levé koleno), 2373,2 Nm/kg a 706,4 Nm/kg (pravé koleno). Při prvním maximu je hodnota mediánu levé kyčle 6296,8 Nm/kg a pravé kyčle 5442,3 Nm/kg. Hodnota mediánu druhého lokálního extrému je u levé kyčle 1534,6 Nm/kg a u pravé kyčle 5442,3 Nm/kg.



Obr. 2.57: Momenty sil cviku: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa



Největší rozpětí hodnot má veličina s názvem hip moment u levého kolene při prvním maximu. Naopak nejmenší rozpětí má první maximum veličiny ankle power u levého kotníku. Nejvíce odlehých hodnot je u druhého maxima pravé kyčle.

### 3 GUI řešení

GUI řešení bylo vytvořeno v prostředí Matlab. Po spuštění příslušného skriptu se uživateli zobrazí grafické rozhraní. Analýza silových veličin i momentů sil je vždy rozdělena na tři části podle umístění markerů na dolní končetině: kotník, koleno, kyčel. Uživatel si tedy může vybrat ze zmiňovaných částí těla, jakou chce analyzovat a také zda chce analyzovat momenty sil nebo silové veličiny.

Po kliknutí na tlačítko s názvem *Select your file* se otevře průzkumník a uživatel si vybere složku, kde má uložená data, která chce analyzovat. Po vybrání a otevření složky s daty musí dvojklikem otevřít příslušnou strukturu s názvem *Markers*. Poté se vykreslí celkem dva grafy (pravá a levá dolní končetina). V případě, že chce analyzovat další soubory, pouze změní svůj výběr složky s daty a může opakovat analýzu.



Obr. 3.1: GUI řešení

## 4 Diskuze

Každý pacient absolvoval pět měření šesti cviků, které byly předem definovány. Získaná data byla převedena do příslušného formátu a dále analyzována. Celkem bylo zkoumáno šest veličin (ankle power, knee power, hip power, ankle moment, knee moment a hip moment). Pomocí příslušných funkcí, které detekovaly lokální extrémy signálu, byl získán soubor dat, jenž sloužil k vyhodnocení analýz. Tyto veličiny byly navrženy MUDr. Karlem Urbáškem. Výsledky kinetické analýzy od všech pacientů byly zaneseny pro každou veličinu do krabicových grafů, které slouží k vyhodnocení výsledků.

Momenty sil cviku vertikální výskok jsou velmi podobné pro pravý a levý kotník, takže v této části dolní končetiny nedocházelo k menšímu zatížení jedné strany těla na úkor té druhé. Podobně tomu tak je u momentů sil kolen, kde je však větší rozpětí hodnot druhého maxima. Momenty sil kyčlí jsou naopak poměrně rozdílné u pravé a levé nohy. Pacientky při tomto cviku zatěžují více kyčle oproti ostatním částem dolní končetiny. Silové veličiny tohoto cviku jsou pro všechny části dolních končetin poměrně vyrovnané až na pár odchylek u některých partií nohy. Největší odlišnost je opět u kyčlí, kde je značný rozdíl mezi levou a pravou dolní končetinou.

Cvik s názvem stoj na jedné noze má u všech veličin momentů sil velké rozpětí hodnot. Nejmenší rozdíl mezi pravou a levou nohou je u kotníku. Kolena i kyčle jsou velmi odlišné pro jednotlivé dolní končetiny, zvláště pak druhé maximum je velmi rozdílné. Silové veličiny tohoto cviku mají téměř u všech částí velké množství odchylek. Největší rozdíl mezi pravou a levou nohou je u druhého maxima kyčlí, kde se hodnoty značně liší. Pacientky při tomto cviku zatěžovaly jednu část dolní končetiny více než druhou, aby udržely tělo ve stabilní poloze. Tento úkon však není pro jejich pohybový aparát ideální, jelikož si tím mohou způsobit zranění.

Momenty sil při výskoku z jedné nohy jsou srovnatelné v případě kotníků a kyčlí, kde testované osoby poměrně rovnoměrně zatěžovaly levou a pravou dolní končetinu. Opačným případem jsou kyčle, kde jsou signifikantní rozdíly prvního a druhého maxima. U kyčlí je také velké rozpětí hodnot a objevují se zde vysoká čísla, která mnohdy značí výrazné přetěžování této partie těla. Silové veličiny výskoku z jedné nohy jsou pro všechny veličiny bez větších odchylek a jsou velmi podobné pro pravou a levou dolní končetinu.

Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu má srovnatelné hodnoty obou maxim a jednotlivých dolních končetin pouze u kotníku. U kolen a kyčlí jsou velké odlišnosti a také větší rozpětí hodnot s výskytem odchylek. Nejmarkantnější rozdíl a nejvyšší hodnoty se vyskytují při prvním maximu kyčlí, který je u této části dolní končetiny nejen u momentů sil ale také v případě silových veličin. Tyto vysoké hodnoty značí výrazné zatěžování této části těla.

Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze má u veličin momentů sil přípustně rozdílné hodnoty kotníků a kolen, kde se kromě dopadu a odrazu pravého kolene nevyskytují žádné odlehle hodnoty a ani rozpětí těchto veličin není výrazně rozlehlé. Naopak velký rozdíl nastává v případě kyčlí, kde je velké rozpětí hodnot a velký rozdíl mezi pravou a levou nohou. Dochází k nerovnoměrnému zatížení částí končetin, kde pacientky méně zatěžují kotníky a kolena na úkor vyššímu zatížení kyčlí. Podobný jev nastává u silových veličin tohoto cviku, kde však není velký rozdíl mezi pravou a levou kyčlí, ale i mezi jednotlivými kotníky, kde je navíc velké rozpětí hodnot u obou maximálně pravé dolní končetiny.

Momenty sil posledního cviku se pohybují v podobných hodnotách v případě kotníku a kolene, kde se nevyskytují téměř žádné výrazné odchylky. Signifikantní rozdíl je však u kyčlí, kde se výrazně liší hodnoty pravé a levé dolní končetiny a je zde také velké rozpětí hodnot. Jelikož vysoké hodnoty momentů sil jsou často znakem přetěžování této partie těla, pacientky přetěžují kyčel jako kompenzaci vůči ostatním částem těla. Silové veličiny se jeví jako poměrně vyrovnané, nicméně vyšší rozdíl je při dopadu kyčlí.

Výsledky byly konzultovány s expertkou na signály z laboratoře chůze Ing. Veronikou Svozilovou a MUDr. Karlem Urbáškem. Byl potvrzen předpoklad, že hráčky basketbalu neprovádí základní cviky správně a přetěžují při nich různé části dolní končetiny jako kompenzaci pro udržení stability. Také při pohybu nerovnoměrně zatěžují pravou a levou dolní končetinu. V případě, že pacientky budou stále opakovat přetěžování nějaké partie těla, je pravděpodobný vznik zranění pohybového aparátu. Při kompenzačních cvičeních a fyzioterapeutické terapii je možné se těmto důsledkům vyhnout. Výsledky této práce budou předány MUDr. Karlu Urbáškoví, který na jejich základě může stanovit klinickou diagnózu a doporučit pacientkám další vyšetření a případnou léčbu.

## 5 Závěr

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo zpracování surových dat získaných pomocí systému Vicon, jejich kinetická analýza a vyhodnocení výsledků.

Z databáze Dětské nemocnice FN Brno bylo vybráno pět pacientů. V testované skupině jsou dívky okolo čtrnácti let, které se vrcholově věnují basketbalu. Každá pacientka měla za úkol provádět předem definovaný cvik několikrát za sebou. Z těchto pokusů bylo vybráno pět nejlepších provedení od každé dívky. Dívky absolvovaly měření celkem šesti cviků.

Díky osmi kamerám Vicon byly získány záznamy z markerů ve formátu C3D, což je koordinovaný 3D záznam skládající se z binárních dat obsahující surová data. Součástí tohoto formátu jsou parametry, které dávají datům popis a funkci.

Získaná data byla převedena pomocí funkce do *mat* souboru, členěného do několika struktur. Jelikož se práce zabývá kinetickou analýzou, využívá informace pouze z jejích určených částí, které obsahují surová data silových veličin a momentů sil. Každá z těchto veličin byla zkoumána pro jednotlivé části dolní končetiny (kotník, koleno, kyčel), zvlášť pro levou i pravou nohu a v předem určené ose ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Soubor dat sloužící k vyhodnocení analýz byl získán pomocí příslušných funkcí, které detekovaly lokální extrémy signálu. Výsledky kinetické analýzy od všech pacientů byly zaneseny do krabicových grafů.

Výsledky byly konzultovány s expertkou na signály z laboratoře chůze a hodnoty získané z analýzy zkoumaných veličin v rámci skupiny testovaných pacientů potvrdily teoretický předpoklad, že hráčky basketbalu neprovádí základní cviky správně a přetěžují různé části dolní končetiny jako kompenzaci pro udržení stability. Globálně testované osoby nejvíce přetěžují kyčle, čímž nahrazují menší zatížení kotníků a kolen. V případě opakování nerovnoměrného zatížení dolních končetin, je pravděpodobné poškození pohybového aparátu. Výsledky budou předány MUDr. Karlu Urbáškoví, který na jejich základě a pomocí dalších vyšetření, může stanovit klinickou diagnózu a případnou léčbu.

Bylo vytvořeno GUI řešení v prostředí Matlab, které umožňuje zobrazit grafické vykreslení momentů sil a silových veličin pro jednotlivé části těla. Uživatel si tak jednoduše vybere, co chce zobrazit a po výběru dat získá vykreslení požadované veličiny.

Byla provedena kinetická analýza dat získaných v laboratoři chůze a její vyhodnocení. Výsledky byly prezentovány a je zhotovené grafické prostředí, kde si uživatel může zobrazit jednotlivé veličiny. Jako menší nedostatek práce považuji detekci lokálních extrémů, která by mohla být více automatická. Doporučila bych však tento problém řešit již ve zpracování surových dat získaných z Vicon systému a upravit tedy funkci, která převádí data do požadovaného formátu.

# Literatura

- [1] *Marker placement for plug-in gait lower body models* [cit. 10.11.2018] Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/figure/Marker-placement-for-plug-in-gait-lower-body-models-anterior-view-Vicon-Motion-Systems\\_fig2\\_267380541](https://www.researchgate.net/figure/Marker-placement-for-plug-in-gait-lower-body-models-anterior-view-Vicon-Motion-Systems_fig2_267380541)>.
- [2] *Gait Laboratory at NEHU* [cit. 20.11.2018] Dostupné z URL: <<https://itbackyard.com/mocaphouse/>>.
- [3] *Mocaphouse* [cit. 20.11.2018] Dostupné z URL: <<https://itbackyard.com/mocaphouse/>>.
- [4] *Gait Analysis Using Wearable Sensors* [cit. 4.12.2018] Dostupné z URL: <[www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors)>.
- [5] *Fakultní nemocnice otevřela unikátní laboratoř chůze* [cit. 10.12.2018] Dostupné z URL: <<https://www.fnbrno.cz/detska-nemocnice/laborator-chuze/laborator-a-jeji-cile/t3144>>.
- [6] *Clinical Gait Analysis* [cit. 20.11.2018] Dostupné z URL: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780443100093/clinical-gait-analysis>>.
- [7] *Efekt konzervativní terapie u deformity hallux valgus* [cit. 16.12.2018] Dostupné z URL: <<https://docplayer.cz/35573771-Univerzita-karlova-v-praze-efekt-konzervativni-terapie-u-deformity-hallux-valgus.html>>.
- [8] *Gait Analysis in Patients With Parkinson's Disease: Relationship to Clinical Features and Freezing* [cit. 16.12.2018] Dostupné z URL: <<https://www.e-jmd.org/journal/view.php?doi=10.14802/jmd.08011>>.
- [9] *Mechanism and Design Analysis of Articulated Ankle Foot Orthoses for Drop-Foot* [cit. 16.12.2018] Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/figure/Different-phases-of-normal-gait-cycle\\_fig1\\_262812354](https://www.researchgate.net/figure/Different-phases-of-normal-gait-cycle_fig1_262812354)>.
- [10] NEUMANNOVÁ, K.; JANURA, M.; KAVÁČIKOVÁ, Z.; SVOBODA, Z.; JAKUBEC, L.: *Analýza chůze u osob s chronickou obstrukční plicní nemocí*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4704-9.
- [11] *Kinetic analysis of gait initiation* [cit. 16.12.2018] Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/235625864\\_Kinetic\\_analysis\\_of\\_gait\\_initiation](https://www.researchgate.net/publication/235625864_Kinetic_analysis_of_gait_initiation)>.

- [12] *The evolution of clinical gait analysis part III – kinetics and energy assessment* [cit. 17.12.2018] Dostupné z URL:<[www.elsevier.com/locate/gaitpost](http://www.elsevier.com/locate/gaitpost)>.
- [13] *Biomechanics* [cit. 18.12.2018] Dostupné z URL: <<https://www.southampton.ac.uk/healthsciences/research/facilities/biomechanics.page>>.
- [14] *Vicon introduction* [cit. 26.12.2018]. Dostupné z URL: <<http://grouplab.cpsc.ucalgary.ca/cookbook/index.php/Toolkits/ViconIntroduction>>.
- [15] *Understanding Gait Analysis in Sport*[cit. 26.12.2018] Dostupné z URL:<<https://simplifaster.com/articles/understanding-gait-analysis-sport/>>.

## Seznam symbolů, veličin a zkratk

<b>C3D</b>	koordinované 3D zobrazení – Coordinate 3D
<b>3D</b>	trojrozměrné zobrazení
<b>FN</b>	Fakultní nemocnice
<b>GRF</b>	Síla reakce podložky – Ground refraction force



# Seznam příloh

A	Hodnoty lokálních maxim silových veličin	93
B	Hodnoty lokálních maxim momentů sil	96

# A Hodnoty lokálních maxim silových veličin

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRÁVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRÁVÁ KYČEL	
		ODRAZ [W/kg]	DOPAD [W/kg]	ODRAZ [W/kg]	DOPAD [W/kg]	ODRAZ [W/kg]	DOPAD [W/kg]	ODRAZ [W/kg]	DOPAD [W/kg]	ODRAZ [W/kg]	DOPAD [W/kg]	ODRAZ [W/kg]	DOPAD [W/kg]
1	1	6,4153	-6,2858	5,7268	-5,7481	5,7634	0,6001	4,5241	2,4987	4,4052	0,0187	3,8041	1,0425
	2	7,1932	-5,8593	7,0225	-4,7444	2,2063	0,3884	4,7433	2,0424	7,4733	0,026	5,2855	0,3985
	3	6,1272	-5,4012	5,1172	-5,4109	4,3604	0,5445	4,7931	0,9518	5,9795	0,5667	4,5974	0,7807
	4	7,6919	-6,8871	6,5676	-4,9494	4,1143	0,4413	4,1378	2,4371	6,7472	0,037	4,91	1,4607
	5	7,1387	-4,5986	6,9205	-5,167	3,3657	0,1959	4,5827	3,0949	5,2434	0,1555	4,5273	2,1604
	PRŮMĚR	6,91326	-5,8064	6,27092	-5,20396	3,96202	0,43404	4,47436	2,20498	5,96972	0,16078	4,62486	1,16856
2	1	6,9732	-5,4491	6,9567	-5,8752	3,8793	0,078	5,446	2,2753	4,6721	0,0001	4,1696	1,3676
	2	7,7974	-5,6918	7,4159	-6,3627	3,5632	1,069	4,8097	0,9137	4,4022	0,094	4,1977	1,9493
	3	6,488	-5,3397	5,6436	-4,9884	3,5501	0,2504	5,5885	2,4905	5,4518	0,6476	3,1311	0,9615
	4	6,0119	-5,2029	6,7515	-5,8297	5,5581	0,9224	6,2007	1,5475	3,746	0,0112	4,3741	0,9247
	5	7,394	-4,4603	6,5954	-5,523	2,938	0,2345	5,3919	1,8705	4,9284	0,0036	3,7181	1,1546
	PRŮMĚR	6,9329	-5,22876	6,67262	-5,7158	3,89774	0,51086	5,48736	1,8195	4,6401	0,1513	3,91812	1,27154
3	1	9,9794	-8,0118	10,1021	-10,4906	5,004	2,361	3,5863	0,5513	2,2842	0,8121	4,8915	0,7765
	2	10,5519	-8,9456	9,8758	-7,7369	5,1854	3,9742	3,6508	2,8783	2,9787	0,3798	4,5627	0,2022
	3	9,3018	-5,4762	10,2263	-9,8021	2,8114	3,2894	1,8467	1,9666	1,7017	0,4725	4,8973	0,4029
	4	10,4602	-9,107	10,7857	-7,3284	5,3466	2,838	2,8895	3,0015	3,6915	0,7495	6,0442	0,858
	5	10,9231	-7,2263	10,8427	-8,9774	5,0326	3,1542	4,08	2,5151	2,4926	0,6866	5,8125	0,5961
	PRŮMĚR	10,24328	-7,75338	10,36652	-8,86708	4,676	3,12336	3,21066	2,18256	2,62974	0,6201	5,24164	0,56714
4	1	2,9163	-3,3628	4,0169	-5,1685	3,5453	0,9417	4,0589	0,1275	1,7873	0,6328	4,8133	3,0838
	2	3,2919	-3,9153	4,7366	-3,1143	3,361	0,4471	2,732	0,1872	2,2074	0,7057	4,9522	3,151
	3	3,586	-4,5473	5,0837	-4,3607	2,4981	0,8517	3,1856	0,1221	3,0833	0,6299	4,7397	2,76124
	4	3,0215	-3,4495	4,1951	-2,9961	3,2188	0,5649	4,0626	0,2109	2,2889	0,5255	3,7876	2,746
	5	3,3598	-3,5279	5,0804	-3,0852	2,8266	0,3471	2,7754	0,2717	2,6908	0,2536	6,0367	2,0591
	PRŮMĚR	3,2351	-3,76056	4,62254	-3,74496	3,08996	0,6305	3,3629	0,18388	2,41154	0,5495	4,8659	2,760228
5	1	4,2859	-5,0864	6,0499	-5,44	5,9931	0,7582	4,1917	0,2257	3,4574	0,133	4,751	2,0314
	2	5,1724	-5,2643	5,6181	-7,6807	4,922	0,4817	4,889	1,5804	4,0506	-0,005	5,0945	1,2826
	3	4,6685	-5,0131	5,4903	-6,5553	5,1369	0,2004	4,9412	1,0551	4,0879	0,5488	4,3092	1,9027
	4	5,1933	-4,8718	6,8266	-8,0066	5,2955	0,5357	5,542	5,1797	3,6885	0,4061	3,7387	0,6676
	5	5,1494	-4,6714	6,2877	-4,9077	4,3471	0,8546	3,3806	0,3057	4,5542	0,0168	4,9877	1,5478
	PRŮMĚR	4,8939	-4,9814	6,05452	-6,53806	5,13892	0,56612	4,5889	1,66932	3,96772	0,21994	4,57622	1,48642

Obr. A.1: Hodnoty lokálních maxim silových veličin cviku: Vertikální výskok

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRÁVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRÁVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
	1	-0,1807	0,4543	0,2861	0,2865	0,0703	0,0101	0,0720	0,0135	0,1271	0,1227	0,1217	0,1040
	2	-0,1738	0,3887	-0,4631	0,3208	0,1485	0,0240	0,0960	0,0613	0,0769	0,1490	0,0956	0,0588
	3	-0,1134	0,2915	-0,0082	0,0087	0,0711	0,0189	0,1385	0,0170	0,0771	0,1176	0,0219	0,0388
	4	-0,1885	0,3595	-0,1709	0,4822	0,1173	0,0116	0,1399	0,0340	0,0799	0,0052	0,1206	0,0399
	5	-0,2097	0,3561	-0,2768	0,4391	0,0961	0,0190	0,1207	0,0199	0,0737	0,1077	0,0818	0,0713
	PRŮMĚR	-0,1732	0,3700	-0,1266	0,3075	0,1007	0,0167	0,1134	0,0291	0,0869	0,1004	0,0883	0,0626
	2	1	-0,2063	0,2372	-0,0642	0,1192	0,0333	0,0172	0,1769	0,0232	0,1744	0,0327	0,0296
	2	2	-0,3684	0,4674	-0,2066	0,1360	0,0851	0,0067	0,1268	0,0184	0,4133	0,0202	0,0115
	2	3	-0,2591	0,1814	-0,1318	0,2310	0,0652	0,0082	0,0656	0,0386	0,3501	0,0275	0,0281
	2	4	-0,1330	0,1261	-0,2288	0,1926	0,1024	0,0138	0,0458	0,0113	0,2279	0,0128	0,0248
	2	5	-0,4848	0,1033	-0,2065	0,2951	0,0888	0,0081	0,0482	0,0209	0,4237	0,0077	0,3133
	PRŮMĚR	-0,2903	0,2231	-0,1676	0,1948	0,0750	0,0108	0,0927	0,0225	0,3179	0,0202	0,2868	0,0245
	3	1	-0,1782	0,2291	-0,1659	0,3322	0,0962	0,0067	0,0312	0,0169	0,3691	0,1097	0,1181
	3	2	-0,2911	0,2155	-0,2474	0,2448	0,1202	0,0116	0,0582	0,0130	0,0971	0,1413	0,0163
	3	3	-0,0811	0,1275	-0,1200	0,0951	0,0473	0,0213	0,0308	0,0099	0,1597	0,0668	0,0064
	3	4	-0,3286	0,0500	-0,1642	0,1887	0,0359	0,0225	0,0540	0,0063	0,1131	0,0112	0,0765
	3	5	-0,3991	0,1786	-0,2362	0,3149	0,0594	0,0050	0,1265	0,0181	0,1889	0,0795	0,1769
	PRŮMĚR	-0,2556	0,1601	-0,1867	0,2351	0,0718	0,0134	0,0601	0,0128	0,1856	0,0817	0,1148	0,0269
	4	1	-0,3276	0,5739	-0,2093	0,2338	0,5950	0,0238	0,4663	0,1087	0,0266	0,3073	0,0832
	4	2	-0,1223	0,0071	-0,2898	0,1993	0,4633	0,0053	0,5465	0,0439	0,1244	0,0111	0,1878
	4	3	-0,2757	0,2409	-0,0726	0,2312	0,2792	0,0107	0,3505	0,0135	0,0540	0,3546	0,0727
	4	4	-0,3217	0,7093	-0,0948	0,2248	0,6036	0,0163	0,4232	0,0371	0,2028	0,2425	0,0634
	4	5	-0,2425	0,6367	-0,2849	0,2683	0,5701	0,0228	0,5187	0,0432	0,0701	0,2510	0,1773
	PRŮMĚR	-0,2580	0,4336	-0,1903	0,2315	0,5022	0,0158	0,4610	0,0493	0,0956	0,2333	0,0706	0,1975
	5	1	-4,3744	0,3720	-5,8405	0,0260	1,1062	0,0179	0,7654	0,0832	0,6770	0,0409	0,0353
	5	2	-3,2846	0,4718	-5,1755	0,0593	0,6954	0,0285	0,9153	0,0174	0,5515	0,0512	3,3497
	5	3	-4,5269	0,8583	-6,2871	0,0318	1,5472	0,0100	2,0679	0,0146	0,2226	0,0192	0,0261
	5	4	-4,3812	0,8511	-4,7225	0,0211	1,5712	0,0129	1,2084	0,0212	0,7070	0,0378	1,0978
	PRŮMĚR	-4,1418	0,6383	-5,5064	0,0346	1,2300	0,0173	1,2393	0,0341	0,5395	0,0373	1,2395	0,0196

Obr. A.2: Hodnoty lokálních maxim silových veličin cviku: Stoj na jedné noze

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	7,0789	-6,1890	7,8357	-6,0734	2,0979	0,8098	2,8352	1,9991	2,6079	0,6351	1,8844	1,4688
1	2	4,8471	-3,7974	9,6048	-4,9473	1,0696	0,3162	2,1599	1,0244	1,7891	0,2508	1,9326	0,3919
1	3	8,2572	-5,1027	8,1942	-5,3957	1,5877	0,9905	1,5996	2,4470	1,9368	0,0384	2,3027	0,7268
1	4	5,9304	-4,3240	9,4699	-4,9207	1,5611	0,9042	1,3285	1,6107	1,3789	0,4887	1,9126	0,4015
1	5	4,5218	-3,8041	6,7422	-5,3044	1,2516	0,2754	2,1246	1,3372	1,7562	0,1877	1,7663	1,4330
	PRŮMĚR	6,1271	-4,6434	8,3694	-5,3283	1,5136	0,6592	2,0096	1,6837	1,8938	0,3201	1,9597	0,8844
2	1	9,1745	-4,9864	8,0612	-3,6109	3,3192	2,0197	3,3964	1,6632	3,9008	0,5435	4,0580	0,8046
2	2	8,6853	-3,8832	9,6104	-5,1022	2,4041	0,9162	4,0118	1,2940	3,5060	0,5485	4,2923	0,5505
2	3	7,7691	-3,9202	2,2987	-3,8456	2,9474	1,3841	2,7610	1,9430	3,6129	0,5703	3,8520	1,5120
2	4	7,5391	-3,2703	1,0298	-2,6545	3,0535	0,5683	2,4040	2,3670	3,4686	0,6719	4,6030	1,3610
2	5	9,1716	-4,3699	7,8386	-2,6180	2,4308	1,2759	3,9382	1,0724	3,6551	0,6079	4,4013	0,6560
	PRŮMĚR	8,4679	-4,0860	5,7677	-3,5662	2,8310	1,2328	3,3023	1,6679	3,6287	0,5884	4,2413	0,9768
3	1	9,7260	-6,2666	5,5447	-2,7337	1,7317	0,3740	1,3937	0,5248	2,2488	1,1163	1,3380	0,3330
3	2	11,8521	-7,0150	10,8223	-7,4479	2,4633	2,1810	1,6808	1,4396	3,1878	0,8575	4,3180	1,3755
3	3	11,1134	-6,6669	10,5728	-5,8574	2,4802	1,7762	3,1785	0,7610	3,9848	1,2749	5,4534	0,9970
3	4	9,9640	-5,7088	10,6249	-4,2834	1,6973	2,1969	1,4559	2,3495	2,4948	1,2996	3,2672	0,5959
3	5	9,7702	-5,9029	10,2247	-5,0248	2,2764	1,1631	2,5176	2,9624	2,8442	1,1432	4,5091	0,5776
	PRŮMĚR	10,4851	-6,3120	9,5579	-5,0694	2,1298	1,5382	2,0453	1,6075	2,9521	1,1383	3,7771	0,7758
4	1	6,5243	-7,7321	7,8330	-8,1179	2,7244	0,7505	4,0388	0,4646	1,8077	0,9980	1,0351	1,1349
4	2	8,4652	-8,4726	7,8996	-8,0070	2,9040	1,8114	4,4641	0,3696	1,6397	1,0645	1,3931	1,3155
4	3	7,4066	-8,1589	7,3831	-7,6477	4,0623	0,1653	3,9214	1,2077	1,9659	1,3045	1,6273	1,6333
4	4	7,3956	-7,9697	8,2043	-7,4407	3,1612	0,3419	4,5292	0,7068	1,8413	0,7377	1,4527	0,9301
4	5	7,9038	-7,6771	6,8669	-9,3553	2,8253	0,1409	3,7843	0,4161	1,3867	0,6457	1,2380	0,9539
	PRŮMĚR	7,5391	-8,0021	7,6374	-8,1137	3,1354	0,6420	4,1476	0,6330	1,7283	0,9501	1,3492	1,1935
5	1	7,2117	-5,9242	8,7711	-5,8946	3,4320	0,5844	2,7049	1,5707	2,0545	0,2154	2,3042	0,7962
5	2	4,7582	-4,3691	5,4417	-5,3996	3,0152	0,8436	2,4423	1,7551	1,4533	0,1484	1,3871	0,8799
5	3	5,0558	-5,5933	6,6271	-6,5369	3,8933	1,4363	3,1309	2,9547	2,1942	0,7056	1,9808	1,6694
5	4	7,0788	-5,8293	7,1972	-5,2727	4,3017	0,5811	2,2778	1,8096	2,4241	0,3743	1,4692	1,5887
	PRŮMĚR	6,1412	-5,9722	7,1193	-6,4862	3,3690	0,8766	3,1064	1,7284	1,8576	0,5049	1,7553	1,1348

Obr. A.3: Hodnoty lokálních maxim silových veličin cviku: Výskok z jedné nohy

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-7,9530	4,2875	-8,3988	8,4590	2,7996	1,2362	4,0625	0,5614	0,6410	0,0324	3,2913	1,9676
1	2	-6,8497	5,6168	-6,9190	6,7915	3,4698	4,7758	3,3423	2,3920	1,2331	0,0347	3,5568	2,5795
1	3	-8,4229	5,3128	-7,7363	4,7202	0,1053	3,4439	0,1870	2,1620	0,2618	0,4883	3,8737	1,6871
1	4	-8,3833	5,1721	-7,3054	4,5960	0,9801	3,4204	0,6447	3,5848	0,1986	0,5682	4,0347	2,1068
1	5	-9,0699	3,1768	-6,5946	4,9749	2,7152	1,7528	2,8985	1,5270	0,3606	0,0270	3,0789	2,0253
	PRŮMĚR	-8,1358	4,7132	-7,3908	5,9083	2,0140	2,9258	2,2270	2,0454	0,5390	0,2301	3,5671	2,0733
2	1	-5,5566	4,8734	-4,9928	4,5480	2,1216	4,8055	0,5283	2,4412	0,2933	2,3464	7,1618	0,2204
2	2	-5,6626	4,2537	-4,9829	3,6595	1,3495	4,2619	0,4500	1,9319	0,2444	2,2905	4,2177	2,7366
2	3	-6,3179	4,2609	-4,7523	4,1047	1,3460	4,9896	0,4518	2,9046	0,2635	0,5797	5,1216	1,8985
2	4	-6,6982	3,3485	-5,7615	4,8986	2,3891	3,8365	2,4894	2,7467	0,2031	1,3413	3,2367	2,9098
2	5	-5,7762	4,1953	-6,2741	4,9264	4,5955	2,5578	3,2027	0,6779	0,3079	0,2871	4,1287	3,0552
	PRŮMĚR	-6,0023	4,1864	-5,3527	4,4274	2,3603	4,0903	1,4244	2,1405	0,2624	1,3690	4,7733	2,1641
3	1	-3,4380	4,6235	-6,4218	4,1614	2,7816	2,9942	6,8299	3,3618	4,6090	2,5694	0,1287	2,5907
3	2	-6,9930	7,8158	-6,4570	4,1406	3,8582	2,7228	4,2999	2,3896	9,4101	2,1376	1,4130	0,2907
3	3	-5,2450	3,7761	-6,0049	3,4682	3,5066	1,1450	4,8121	3,8199	6,8891	2,3865	0,2892	1,2308
3	4	-5,7575	6,0641	-7,5898	5,0061	4,6118	2,8333	6,1001	4,2321	4,6118	2,8333	6,1001	4,2321
3	5	-6,0089	6,9572	-7,4580	4,4483	0,4541	3,0540	4,9221	4,2922	9,2631	3,0513	0,8941	1,0968
	PRŮMĚR	-5,3584	5,5699	-6,6184	4,1941	3,6896	2,4238	5,5105	3,4509	6,3800	2,4817	1,9828	2,0861
4	1	-7,3662	2,3539	-6,0048	4,8380	0,1767	5,6708	0,2046	4,5177	1,7591	2,2130	4,9973	5,6082
4	2	-7,2201	3,0272	-6,0390	5,6018	4,3002	4,9070	3,3505	0,8900	2,5313	0,6671	5,6224	5,5411
4	3	-4,5087	1,9780	-4,6173	4,3615	3,1541	5,9021	1,4317	4,0731	1,8466	0,6118	4,5342	3,9868
4	4	-4,8204	1,9812	-4,1286	3,9844	4,3699	6,0779	1,1126	5,5073	2,1117	1,2940	2,8587	4,1997
4	5	-5,6661	1,2662	-4,5664	4,6850	1,8118	7,4813	0,8807	5,2093	2,1468	0,2048	4,7958	0,3713
	PRŮMĚR	-5,9163	2,1213	-5,0712	4,6941	2,7625	6,0078	1,3960	4,0395	2,0791	0,9981	4,5617	3,9414
5	1	-7,5052	5,2757	-5,6022	6,7819	0,1357	7,8604	0,1559	2,6940	0,2624	1,3875	10,7811	3,3591
5	2	-5,8456	3,9695	-5,3345	5,5305	0,3769	6,7439	0,1867	4,7970	0,4345	0,4166	4,2408	1,6605
5	3	-5,5853	4,3342	-7,2927	5,6205	1,8158	6,8218	0,3928	4,3813	0,2132	0,7863	4,7731	1,1851
5	4	-6,1937	5,1857	-6,5349	7,2163	0,1976	7,2162	0,1550	4,0537	0,0680	0,6105	4,2768	1,7950
5	5	-4,7906	3,6013	-5,8082	4,5406	1,7373	5,7579	2,8626	4,8990	0,1767	0,7317	4,5685	0,9704
	PRŮMĚR	-5,9841	4,4733	-6,1145	5,9380	0,8527	6,8800	0,7506	4,1650	0,2310	0,7865	5,7281	1,7940

Obr. A.4: Hodnoty lokálních maxim silových veličin cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL	PRAVÁ KYČEL		
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-9,5884	6,1134	-8,5457	2,3204	0,8896	0,8873	1,3590	0,1773	2,6346	0,5493	0,3615	1,2155
1	2	-7,9430	5,4393	-0,0040	0,0510	1,3282	0,2677	0,5689	0,0168	1,2881	0,4287	0,3581	0,0518
1	3	-6,9857	5,3910	-8,2202	0,4362	0,8807	0,2964	1,5275	1,0389	1,5891	0,1302	0,5925	1,2951
1	4	-9,4930	6,4556	-8,8002	6,6584	1,0420	0,1182	1,3189	1,0133	1,0878	0,1643	1,1903	0,5318
1	5	-6,9596	6,8345	-7,8548	3,7918	1,9250	0,5741	1,8973	0,4093	2,0607	0,4543	0,8975	0,4988
	PRŮMĚR	-8,1939	6,0468	-6,6850	2,6516	1,2131	0,4287	1,3343	0,5311	1,7321	0,3454	0,6800	0,7186
2	1	-5,9674	9,3674	-0,0174	0,0212	2,6780	1,4666	0,2145	0,1304	3,3666	0,9854	0,3308	0,0779
2	2	-7,7152	8,0326	-8,0507	9,3814	1,9732	3,7906	4,9196	1,6185	2,7233	0,7220	3,1590	1,6695
2	3	-4,3411	7,9850	-0,0222	0,0157	3,3992	1,6616	0,1879	0,1396	4,5252	1,7431	0,3867	0,0388
2	4	-6,7884	9,5402	-0,0123	0,0075	4,3819	1,3426	0,2102	0,0827	3,6602	1,1447	0,3808	0,0855
2	5	-6,8142	9,5222	-0,0196	0,0575	3,6247	1,7615	0,1818	0,0885	2,0684	1,3700	0,3884	0,0722
	PRŮMĚR	-6,3253	8,8895	-1,6244	1,8967	3,2114	2,0046	1,1428	0,4119	3,2687	1,1930	0,9291	0,3888
3	1	-7,3243	7,6626	-5,9023	7,1513	2,9695	2,2267	2,2494	1,0799	0,8148	2,6307	0,8438	1,6521
3	2	-7,2813	7,0528	-6,9660	6,7646	4,7024	1,4830	1,6313	1,3201	1,8958	1,7423	1,3936	1,6532
3	3	-6,3269	6,8673	-6,9547	8,5413	3,1534	1,4052	2,4438	2,2983	0,8381	1,6519	0,6195	1,6253
3	4	-5,6913	7,7438	-6,9529	6,8800	3,6137	1,2668	2,6338	1,3831	1,1803	1,4035	0,6663	1,6004
3	5	-5,8766	6,7596	-4,6916	6,0936	3,8673	1,3834	1,9706	2,1696	1,0645	1,3146	0,4451	2,5584
	PRŮMĚR	-6,5001	7,2172	-6,2935	7,0862	3,6613	1,5530	2,1858	1,6502	1,1587	1,7486	0,7937	1,8179
4	1	-9,1978	8,6598	-10,3824	7,4154	2,3613	1,7861	6,4892	0,5393	2,1798	1,3257	1,8847	1,1264
4	2	-8,1002	6,5754	-11,0463	10,0348	2,5794	2,0229	2,7686	2,3438	6,4411	4,7661	3,6750	0,9736
4	3	-8,7614	6,1907	-9,3932	7,7646	2,0285	2,1290	3,4118	3,7611	4,3958	1,0777	5,2967	2,9360
4	4	-8,2503	6,8875	-9,4738	8,5060	2,1482	1,6098	4,1562	0,6518	3,3340	0,6568	3,7775	0,8970
4	5	-10,7843	10,4602	-11,9690	11,4924	1,6707	2,0574	2,7674	1,8581	3,7051	0,8034	4,7492	2,1882
	PRŮMĚR	-9,0188	7,7547	-10,4529	9,0426	2,1576	1,9210	3,9186	1,8308	4,0112	1,7259	3,8766	1,6242
5	1	-0,0047	0,0022	-7,4421	6,8345	0,3235	0,3402	1,5570	1,2504	0,3840	0,3296	1,0360	0,5110
5	2	-0,0053	0,0015	-7,3215	7,0573	1,2314	1,0980	2,3968	0,5513	2,3987	0,7683	1,6266	0,2779
5	3	-0,9435	0,6107	-0,5137	0,1337	0,5462	0,6910	0,1211	0,0672	1,0261	0,8301	0,7244	0,0627
	PRŮMĚR	-0,3178	0,2048	-5,0924	4,6752	0,7004	0,7097	1,3583	0,6230	1,2696	0,6427	1,1290	0,2839

Obr. A.5: Hodnoty lokálních maxim silových veličin cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL	PRAVÁ KYČEL		
		[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]	[W/kg]
1	1	-6,7614	1,5547	-6,0984	1,0754	3,0537	0,2386	1,0677	0,2774	2,5098	2,9171	0,4461	0,4414
1	2	-5,8626	0,8525	-9,9987	1,1963	0,9244	1,0132	4,3235	0,4923	1,9484	1,5833	3,3573	0,6656
1	3	-7,3567	1,8855	-8,6856	0,9705	0,7681	0,3165	1,5370	0,1348	2,6549	0,9983	2,3843	0,6913
1	4	-7,2249	1,5523	-9,3951	1,1921	0,1107	0,6447	1,2244	0,9268	0,4639	1,3718	0,7046	1,0482
1	5	-6,8563	1,8029	-9,4116	1,1373	0,3470	0,2524	2,8989	1,8441	1,6467	1,2746	2,0136	0,5467
	PRŮMĚR	-6,8124	1,5296	-8,7179	1,1143	1,0408	0,4931	2,2103	0,7351	1,8447	1,6290	1,7812	0,6786
2	1	-7,9048	7,2763	-8,7596	8,1673	2,8132	0,7473	0,3825	1,5280	4,8920	4,0112	1,7254	2,3822
2	2	-6,5428	2,6717	-8,6581	3,9030	0,3930	1,9430	0,5500	4,6732	6,0427	3,7168	1,0666	2,1671
2	3	-6,4972	1,7673	-7,6875	5,4977	0,4658	1,5566	2,7646	1,8460	3,1401	3,1262	0,7326	4,3334
2	4	-7,4081	2,2429	-7,4260	2,4319	0,3656	2,8502	1,6902	2,0542	2,4289	2,2538	1,6616	0,6312
	PRŮMĚR	-6,9393	3,3112	-8,4558	4,6706	1,1782	1,1850	1,4769	2,1956	3,9799	3,1208	1,3264	2,3903
3	1	-5,3727	1,1670	-8,3513	3,6417	0,5356	0,9110	4,1071	1,9831	0,4495	1,1372	0,9065	0,5301
3	2	-5,8735	1,0303	-7,1068	1,1551	1,4306	0,6728	0,5755	2,2411	0,2764	1,1968	0,1493	1,1572
3	3	-5,9169	1,9707	-6,1086	1,8129	2,9469	1,2108	2,0542	1,3125	0,3677	0,9056	0,1259	1,8646
3	4	-6,1713	1,1235	-5,3588	1,2909	1,8031	0,9868	0,5372	0,8121	1,1841	1,0157	0,1685	0,6624
3	5	-6,2441	1,1750	-4,8959	0,6999	0,8223	0,4998	1,5289	0,5205	0,2112	0,8813	0,3412	1,1258
	PRŮMĚR	-5,9157	1,2933	-6,3643	1,7201	1,5077	0,8562	1,7606	1,3739	0,4978	1,0273	0,3383	1,0680
4	1	-8,8896	1,6855	-7,6747	1,0838	3,0797	0,4079	1,1691	2,6172	3,2995	2,2363	4,6424	1,7453
4	2	-14,1395	8,8982	-7,0018	0,9536	2,1748	1,0287	0,5058	0,7869	6,9309	0,4084	3,8451	1,1678
4	3	-7,2869	1,3631	-7,0373	1,0098	1,6906	0,3590	1,0749	0,6059	1,7711	1,6813	3,6439	1,3367
4	4	-7,8398	1,5673	-8,3637	0,9955	1,8507	0,3030	0,5291	0,6067	0,6650	2,1669	4,0573	1,5596
4	5	-7,0745	1,5585	-7,6765	0,9876	1,0109	0,2067	0,7656	1,6543	0,3896	1,0828	3,8976	1,4524
	PRŮMĚR	-9,0461	3,0145	-7,5508	1,0061	1,9613	0,4611	0,8089	1,2542	2,6112	1,5151	4,0173	1,4524

Obr. A.6: Hodnoty lokálních maxim silových veličin cviku: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa



# B Hodnoty lokálních maxim momentů sil

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		ODRAZ [Nm/kg]	DOPAD [Nm/kg]	ODRAZ [Nm/kg]	DOPAD [Nm/kg]	ODRAZ [Nm/kg]	DOPAD [Nm/kg]	ODRAZ [Nm/kg]	DOPAD [Nm/kg]	ODRAZ [Nm/kg]	DOPAD [Nm/kg]	ODRAZ [Nm/kg]	DOPAD [Nm/kg]
1	1	1354,2	1914,5	1293,2	1880,4	1448,8	395	967,5	847,3	1220,7	1801	1152,4	2295,1
1	2	1820,5	1667,2	1686,8	1219,3	1158,1	2616,6	1037	1695,5	2018,3	741,4	1558,2	3002,2
1	3	1417,9	1826,5	1127,9	1853	1426,8	276,9	1274,2	750,4	1682,6	1383	1365,3	2984,9
1	4	1634	1993,8	1344,4	1465,4	1559,2	1313	1026,3	964,3	1639	1147,5	1423,7	2278,2
1	5	1600,4	1301,9	1448,2	1518	1228,6	728,6	1179,2	997,8	1531,6	1296,6	1328	2876,6
PRŮMĚR		1565,4	1740,78	1380,1	1587,22	1364,3	1066,02	1096,84	1051,06	1618,44	1273,9	1365,52	2687,4
2	1	1627,7	1528,1	1461,5	1522,7	1023,1	2759,1	1133,4	1447,1	1329,3	820,8	1175,3	2123,4
2	2	1663,1	1581,3	1601,4	1673,2	1100,1	856,1	1138,4	1259,7	1338,1	1495,5	1202	2275,2
2	3	1490,7	1340,5	1359	1191,4	951,9	2618,8	1296,3	1401,3	1644,4	372,3	956,5	2655,9
2	4	1222,1	1375,3	1311,8	1554,5	1303,3	1548,3	1328,1	1931,8	1466,2	1269,2	1161,9	2600,8
2	5	1622,4	1269,3	1473	1540,3	851	2772,7	1453,1	1761,7	1611,1	654,3	1071,6	2557
PRŮMĚR		1525,2	1418,9	1441,34	1496,42	1045,88	2111	1269,86	1560,32	1477,82	922,42	1113,46	2442,46
3	1	1706,6	1749,6	1780,2	2072,6	1015,5	1150,2	808	791,8	822,6	2473,8	1523,1	1167,8
3	2	1684,7	1967,4	1630,2	1924,4	970,7	1273,9	759,1	902,7	1051,5	3126,4	1366,6	1524,2
3	3	1565,4	1585,6	1733,2	2415,2	759,2	992,7	547,2	575,3	789,6	2757,4	1813	1640
3	4	1646,9	1710,1	1733,3	1404,2	1169,7	1346,3	854,3	2809,9	1138,8	3551,2	1828,3	708,5
3	5	1734,9	1143,8	1761	1652,5	1135	1391,7	1184,3	2226,6	1090	3114,4	1645,7	1724,7
PRŮMĚR		1667,7	1631,3	1727,58	1893,78	1010,02	1230,96	830,58	1461,26	978,5	3004,64	1635,34	1353,04
4	1	871,5	1278,6	1146,1	1735,1	897,5	548,4	939,7	884,2	913,8	1194,6	1512,4	2027
4	2	1125	1469,1	1520,4	1164,8	976,3	657,8	888,9	654	864,8	1225,7	1509,9	1285,7
4	3	1058,6	1618,2	1452,8	1513,7	700,3	854	751	883,4	1078,3	1079,8	1670,1	1559,5
4	4	910,2	1297,9	1237,4	1016,1	827,9	674,3	947,5	925,9	982,1	1465,6	1465,4	1677,7
4	5	966,5	1371	1405,6	1003,7	681,7	870,8	905,5	1260,1	967,4	971,1	1695,7	850
PRŮMĚR		986,36	1406,96	1352,46	1286,68	816,74	721,06	886,52	921,52	961,28	1187,36	1570,7	1479,98
5	1	1199	1739,3	1336,4	1672,2	1406,9	850,3	936,9	1188,1	1400,8	1339,9	2717,3	
5	2	1151,5	1325,2	1182,9	1832,2	1079,5	1390,6	1009,1	1593,1	1469,2	279	1576,4	1846,2
5	3	1075,9	1382	1151,5	1800	1298,1	1899,9	1188,4	1536,7	1377	226,1	1348,3	1446,7
5	4	1286,6	1543,9	1972,9	2158,2	1153,5	1077,7	1102,9	1399	1307,2	482,7	1025,3	2966,55
5	5	1307,9	1732	1410,4	1648,9	1405,8	3526,6	1021,4	1303,6	1417	1175,1	1307,3	1228,9
PRŮMĚR		1204,18	1544,48	1410,82	1822,3	1268,76	1749,02	1051,74	1356,62	1351,7	712,74	1319,44	2041,13

Obr. B.1: Hodnoty lokálních maxim momentů sil cviku: Vertikální výskok

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	948,6000	1064,7000	1270,5000	1149,3000	390,6419	15,4656	629,3077	289,5833	609,0491	508,6313	343,0879	553,2733
1	2	902,0000	1021,5000	894,1172	993,1762	443,9704	25,4033	402,7581	312,4771	122,6056	280,0457	268,8301	297,1096
1	3	801,8517	948,6301	12,1119	11,8894	390,5648	41,0934	123,1831	123,7275	335,5440	422,2732	254,8865	496,0893
1	4	790,3000	1014,4000	963,3000	1054,3000	473,4005	14,0814	548,8785	220,5095	320,4439	445,1496	424,8322	577,5869
1	5	812,7281	812,1762	858,8000	1098,5000	331,4573	102,3304	512,5176	349,9395	407,7038	354,3555	287,4800	503,1359
PRŮMĚR		851,0960	972,2813	799,7658	861,4331	406,0070	39,6704	443,3290	259,2474	359,0693	402,0911	315,8233	485,4390
2	1	772,6927	850,4315	779,4664	896,7401	165,0562	25,6556	475,7948	83,9917	497,8073	534,2367	660,6785	475,8878
2	2	790,6000	1023,4000	857,2000	1058,1000	64,6018	13,2260	306,2356	58,0865	520,3049	674,7692	821,1633	489,9950
2	3	794,8882	960,3302	626,9167	895,5272	189,2287	21,5574	234,8043	66,4356	692,8019	578,3192	651,1008	693,6733
2	4	892,5080	947,7432	743,0035	811,8681	326,1861	15,2209	189,3105	40,7807	442,9068	560,2748	427,3797	552,1772
2	5	917,5729	967,5708	739,7876	746,1152	164,6400	19,7301	73,5471	23,3236	579,1519	626,1347	472,2866	704,0864
PRŮMĚR		833,6524	949,8951	749,2748	881,6701	181,9426	19,0780	255,9385	54,5236	546,5946	594,7469	606,5218	583,1639
3	1	903,1779	872,4468	934,9886	948,2039	272,2168	46,0251	256,9773	8,8433	739,4752	748,8392	590,5938	705,5294
3	2	770,8789	939,2151	788,5624	960,5707	226,5892	69,9387	35,2814	20,0626	554,2941	619,2132	529,1483	434,1641
3	3	733,5151	957,1146	999,8665	996,6283	305,0640	142,8550	180,8478	46,2838	531,7346	578,4698	384,0348	154,1010
3	4	715,3392	676,8584	871,8000	1014,1000	154,7309	204,9016	240,3910	126,7095	791,2751	467,1097	322,4453	314,5528
3	5	821,3940	841,7400	1020,1000	1052,3000	150,4560	50,7714	263,0369	46,2744	654,9586	639,7707	735,7139	242,7893
PRŮMĚR		788,8610	857,4750	923,0635	994,3606	221,8114	102,8984	195,3069	49,6347	654,3475	610,6805	512,3872	370,2273
4	1	542,2880	804,4506	614,0093	671,0322	639,7572	675,5284	574,4200	594,4628	773,6800	291,6350	546,9150	170,5024
4	2	290,5039	313,6647	514,4191	683,3823	603,2013	208,3499	511,6696	581,5374	256,8134	423,6920	396,0775	175,8863
4	3	760,8676	637,8019	522,7892	666,0786	696,2606	690,9863	667,0905	597,7998	540,8142	264,2719	440,6183	320,6010
4	4	526,8641	561,5573	440,4084	634,6274	626,8948	640,4874	618,7839	500,7835	559,0052	435,0724	551,8662	288,0021
4	5	500,7228	707,2524	740,6238	686,0641	611,8024	642,8763	531,3743	483,4015	585,5186	387,6754	512,2296	301,2400
PRŮMĚR		524,2493	604,9454	566,4500	668,2369	635,5833	571,6457	580,6677	551,5970	543,1663	360,4693	489,5413	251,2464
5	1	1834,1000	506,3000	2214,4000	780,1000	2943,1000	497,1730	1904,1000	156,6000	1675,5000	864,1000	2363,4000	243,8000
5	2	1795,8000	767,3000	2216,2000	968,4000	2447,2000	283,5000	1326,6000	202,1000	1930,5000	699,3000	1998,7000	105,6887
5	3	1878,4000	488,0000	2251,8000	712,2000	2257,2000	410,0000	1785,1000	166,8000	2176,8000	407,7000	2221,5000	357,6000
5	4	1962,0000	579,4000	2369,6000	752,6000	2256,5000	106,0000	1845,6000	180,5000	3257,5000	262,5000	3379,9000	209,1000
PRŮMĚR		1836,1000	587,2000	2227,4667	820,2333	2549,1667	396,8910	1671,9333	175,1667	1927,6000	657,0333	2194,5333	235,6962

Obr. B.2: Hodnoty lokálních maxim momentů sil cviku: Stoj na jedné noze

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2333,0	1837,1	2418,0	1916,6	1115,6	1673,8	1561,9	1367,9	1201,4	1643,5	1678,5	470,8
1	2	1879,6	1633,3	2489,3	1231,1	1338,8	1701,6	1236,2	2057,0	957,6	1295,9	1106,9	2584,8
1	3	2980,9	1428,8	2486,9	1790,9	964,9	2044,8	1569,5	1174,1	917,3	1276,3	1157,6	2518,9
1	4	2248,9	1556,9	2334,0	1595,8	1133,7	2360,9	1280,7	2041,9	724,3	2711,2	969,3	2748,1
1	5	2406,1	1752,6	2622,4	1782,6	1301,2	2086,5	1187,8	1634,8	1301,2	2086,5	979,1	2850,7
	PRŮMĚR	2369,7	1641,7	2470,1	1663,4	1170,8	1973,5	1367,2	1655,1	1020,4	1802,7	1178,3	2234,7
2	1	2264,1	1605,5	2179,7	1503,6	1535,3	1608,3	1468,6	1935,1	1261,1	2832,3	1423,8	2703,2
2	2	2308,6	1398,4	2448,1	1791,4	1029,9	1718,4	1609,4	1520,5	1302,9	2291,6	1263,0	2962,0
2	3	2282,6	1442,4	1564,4	1869,1	1599,2	1705,9	1980,7	2131,7	1389,1	2242,0	3560,3	3935,3
2	4	2232,7	1321,6	1565,8	1249,7	1684,7	1811,7	1872,8	1828,6	1220,4	2728,0	2939,1	3469,9
2	5	2551,8	1441,9	2160,7	1349,4	1395,7	1540,6	1672,2	2056,5	1959,7	2905,6	1454,1	2942,4
	PRŮMĚR	2328,0	1442,0	1983,7	1552,6	1449,0	1677,0	1720,7	1894,5	1426,6	2599,9	2128,1	3202,6
3	1	2707,6	2245,4	2693,5	1017,5	1399,6	679,9	1379,2	1153,3	1400,6	3137,0	983,0	3915,0
3	2	2875,7	1921,7	2670,5	1413,2	1721,3	1768,2	612,8	1530,0	1411,9	3498,7	1732,3	3978,9
3	3	2703,7	1515,1	2691,1	1281,2	1676,2	925,1	1680,8	862,6	2690,3	1502,6	1829,0	3710,3
3	4	2712,2	1745,5	2840,9	1032,3	961,3	1293,4	1662,8	389,0	1282,9	2567,1	1796,5	3709,0
3	5	2451,4	1607,9	2414,3	1342,1	1323,8	1135,5	1043,6	1586,3	1283,1	3833,8	1579,2	3155,9
	PRŮMĚR	2690,1	1807,1	2662,1	1217,3	1416,4	1160,4	1275,8	1104,2	1613,8	2907,8	1584,0	3693,8
4	1	2994,8	2394,3	2582,1	2173,2	1544,8	1399,5	1640,8	1433,1	1021,9	1453,5	2061,7	1315,9
4	2	2682,8	2231,8	2889,7	1986,2	1365,9	1295,7	1640,7	1825,2	1028,6	1796,4	2415,6	1303,3
4	3	2502,2	2305,1	2882,4	1957,0	1764,1	1828,5	1580,6	1267,8	1353,0	1727,3	2308,8	1757,0
4	4	2769,0	1587,2	2921,3	2319,6	1486,7	1208,1	1801,3	2119,2	2118,3	1544,5	1385,0	1553,9
4	5	2736,5	1659,2	2844,3	1402,3	1520,5	1333,9	1717,5	1466,6	1510,0	953,7	1991,0	1338,5
	PRŮMĚR	2737,1	2035,5	2824,0	1967,7	1536,4	1413,1	1676,2	1622,4	1406,4	1495,1	2032,4	1453,7
5	1	2525,3	792,2	2854,8	860,6	2224,7	995,5	2059,5	1329,3	2346,1	1474,6	1930,6	682,2
5	2	2484,7	1580,8	2560,1	1725,0	1972,6	1805,6	1615,2	1021,0	1078,6	2006,4	1312,2	1810,7
5	3	3268,6	691,6	2737,3	1033,3	1972,9	2216,3	1645,1	1681,3	1239,9	2024,2	1516,3	2366,4
5	4	2487,3	1628,8	2969,3	1636,0	1917,3	2262,1	1598,8	1944,4	835,4	2148,6	1440,2	2288,9
	PRŮMĚR	2528,9	1275,0	2744,0	1396,6	1926,7	1607,6	1749,0	1413,5	1517,7	1750,1	1697,9	1578,3

Obr. B.3: Hodnoty lokálních maxim momentů sil cviku: Výskok z jedné nohy

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	1799,0	202,8	1833,3	814,5	1974,8	379,4	1659,7	152,0	2076,6	289,5	3677,3	604,8
1	2	1733,0	1461,5	1619,6	1395,6	2896,7	1384,6	2008,4	858,7	2189,3	222,9	5473,8	709,6
1	3	1638,9	1979,7	1797,1	1830,7	2027,5	1718,8	1369,9	1033,6	1929,7	303,7	2749,8	688,7
1	4	1735,0	1751,0	1430,3	1383,0	2283,5	1612,0	1316,0	939,3	2069,6	289,4	2761,4	722,0
1	5	1979,2	1079,9	1649,0	1566,1	1872,9	1055,1	1331,4	996,2	2426,0	253,6	2644,6	743,4
	PRŮMĚR	1777,0	1295,0	1665,9	1398,0	2211,1	1230,0	1537,1	796,0	2138,2	271,8	3461,4	693,7
2	1	1374,2	1027,8	1334,1	1116,9	3983,6	982,2	2611,3	545,2	1443,0	1078,2	4602,9	1190,1
2	2	1492,3	1191,7	1223,6	1165,7	3128,5	1244,0	2225,0	585,7	1331,8	179,6	4175,7	124,5
2	3	1571,1	1071,1	1233,4	983,8	2815,2	1441,2	2915,9	812,8	1759,1	120,8	6155,0	671,4
2	4	1555,0	941,1	1181,1	1336,9	1757,2	1034,1	1896,3	948,5	1626,1	94,0	1969,4	812,7
2	5	1409,9	878,7	1338,8	1113,6	2105,2	1265,4	1841,5	528,3	1418,2	11,9	1909,5	49,7
	PRŮMĚR	1480,5	1022,1	1262,2	1143,4	2757,9	1193,4	2298,0	684,1	1515,6	296,9	3762,5	569,7
3	1	931,5	963,0	1545,7	1138,6	1806,2	1131,2	1585,8	866,8	4450,7	275,4	4144,3	230,3
3	2	1442,9	1688,5	1567,7	1156,4	2679,0	1334,3	2064,6	796,3	4570,8	652,0	2544,9	236,9
3	3	1171,2	930,4	1687,1	929,9	2453,3	380,3	1391,3	1320,1	3165,6	698,3	2807,9	918,9
3	4	1202,3	1364,9	1870,6	1304,9	1327,5	1025,1	441,7	1199,3	2568,6	1753,3	2784,7	798,2
3	5	1210,7	1613,2	1841,3	1483,4	2262,7	939,2	3017,6	1390,9	5411,4	881,9	2635,4	644,6
	PRŮMĚR	1191,7	1312,0	1702,5	1202,6	2105,7	962,0	1700,2	1114,7	4033,4	852,2	2983,4	565,8
4	1	2350,0	1503,2	1862,7	1516,6	641,0	1635,1	1099,4	1451,9	3380,7	1016,0	3016,6	1156,7
4	2	2376,1	989,3	1799,4	1354,0	1379,3	1074,5	1059,7	809,9	3799,8	146,5	2646,9	144,2
4	3	1782,4	491,4	1467,7	984,8	1758,6	943,9	1524,9	678,2	2321,5	103,8	1990,4	141,5
4	4	1628,7	613,4	1369,7	942,5	1578,0	955,0	1608,9	942,0	2111,7	1294,0	2858,7	4199,7
4	5	1793,5	828,4	1461,9	1251,6	2282,3	1973,1	1681,0	1589,4	1704,0	447,4	2236,1	410,6
	PRŮMĚR	1986,1	885,1	1592,3	1209,9	1527,8	1316,3	1394,8	1094,3	2663,5	601,5	2549,7	1210,5
5	1	1812,3	1649,7	1256,9	1386,6	2100,2	1805,7	3046,2	1428,9	1963,0	894,4	2426,2	1239,7
5	2	1401,5	987,8	1372,3	1468,1	1371,8	1635,7	2056,4	1300,0	1588,2	576,6	1876,4	766,6
5	3	1259,3	1325,9	1590,3	1663,7	2348,1	1862,4	2174,6	1631,8	1739,7	1044,9	1654,2	931,9
5	4	1491,8	1223,0	1473,0	1526,7	1240,7	1814,3	1520,4	1179,7	2013,0	1098,6	1743,0	1058,2
5	5	1310,9	1071,7	1510,0	1282,5	1160,4	1445,4	2209,4	1395,7	1709,3	936,9	2600,0	619,9
	PRŮMĚR	1455,2	1251,6	1440,5	1465,5	1644,2	1712,7	2201,4	1387,2	1802,6	910,3	2060,0	923,3

Obr. B.4: Hodnoty lokálních maxim momentů sil cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2876,8	1706,8	2125,5	1317,4	2121,1	1368,0	2101,2	605,4	3371,8	2932,4	3564,2	3068,4
1	2	2412,9	1227,7	1429,3	1413,2	1782,2	1705,8	2823,6	1632,1	3990,6	3492,9	3267,4	2007,0
1	3	2505,0	1615,7	2766,6	1835,7	2006,7	1925,5	1804,9	1205,8	4540,88	4281,1	2888,8	2037,2
1	4	2568,0	1229,7	2543,6	1382,4	1603,1	1809,8	2145,5	987,2	3413,6	2956,3	4687,7	4190,8
1	5	2218,3	1031,2	2490,8	1220,8	2050,4	2118,3	1882,1	1096,7	3279,9	2817,9	2596,8	3624,0
	PRŮMĚR	2516,2	1362,2	2271,2	1433,9	1912,7	1785,5	2151,5	1105,4	3719,4	3296,1	3401,0	2985,5
2	1	2349,6	1325,5	1654,6	1367,1	2485,6	1961,5	1932,0	1657,2	2978,9	2711,1	3999,6	3245,3
2	2	2098,4	1202,3	2419,2	1294,6	2142,5	1825,7	2202,3	2295,2	2534,7	2988,9	3456,4	1278,1
2	3	1967,6	1298,1	1840,6	1306,4	2237,9	1801,2	1929,2	2024,6	4398,7	2557,5	4861,2	2827,7
2	4	2264,0	1513,8	1843,6	1351,1	2034,2	1647,4	1456,8	1547,2	4328,4	1892,1	5183,3	2213,7
2	5	2294,3	1254,5	1860,1	2615,3	2100,1	1888,0	2376,8	2110,6	2591,1	2756,6	5236,8	5111,8
	PRŮMĚR	2194,8	1318,8	1923,6	1586,9	2200,1	1824,8	1979,4	1926,9	3366,4	2581,2	4547,4	2935,3
3	1	1961,8	2162,8	1566,5	2554,5	1898,3	1559,0	2070,9	1187,9	3475,4	2319,3	4960,8	2080,4
3	2	1804,2	2470,2	2408,9	1024,9	1845,0	1582,6	2214,2	892,7	3754,5	2109,8	4360,3	3053,6
3	3	1707,5	2455,4	2411,9	1572,7	1916,8	1485,7	1970,8	1378,1	3373,9	2581,3	3731,0	3435,5
3	4	1681,2	2773,4	2144,3	885,0	1595,9	1958,7	2222,7	1268,4	4048,4	2647,9	4211,9	3654,9
3	5	1440,0	2647,6	1538,3	1917,1	1970,1	1948,7	2342,3	1324,5	4211,4	4325,9	4164,2	3382,4
	PRŮMĚR	1718,9	2501,9	2014,0	1590,8	1845,2	1706,9	2164,2	1210,3	3772,7	2796,8	4285,6	3121,4
4	1	2610,2	2375,2	2561,9	1750,8	1150,5	1215,9	1961,1	1022,7	2221,8	2742,5	3041,1	2510,7
4	2	2105,6	2015,6	2865,6	1607,7	885,2	1206,4	1844,7	1646,8	2846,4	3828,3	1139,7	2441,0
4	3	2228,6	1601,1	2105,7	2098,8	1458,6	748,1	1519,7	1369,8	2446,5	2647,3	3968,0	2137,5
4	4	2181,4	2329,3	2518,8	2069,0	1157,6	752,4	1897,9	1324,6	2420,7	1622,9	3954,6	1919,1
4	5	2798,6	1372,8	2884,3	2199,1	1240,6	928,8	1618,6	1121,0	2789,7	1795,3	3520,3	2510,0
	PRŮMĚR	2384,9	1938,8	2587,3	1945,1	1178,5	970,3	1768,4	1297,0	2545,0	2527,3	3124,7	2303,7
5	1	2567,9	1273,1	2979,0	1945,3	2106,3	2160,4	1706,4	1579,6	2204,0	1850,2	2932,2	1524,0
5	2	2438,0	1327,8	3035,6	1698,7	1387,2	1987,6	1614,8	1322,8	2172,3	1609,7	3351,6	1390,5
5	3	2234,8	1561,7	1435,4	835,3	1673,6	1871,0	533,7	145,1	2359,1	1700,4	1589,2	1257,9
	PRŮMĚR	2583,8	1528,2	2816,9	2029,8	1508,5	1353,2	1697,8	1332,5	2512,9	2057,6	3192,4	2112,6

Obr. B.5: Hodnoty lokálních maxim momentů sil cviku: Výskok z vyvýšeného místa a poskok dopředu na jedné noze

PACIENT	ZKOUŠKA ČÍSLO	LEVÝ KOTNÍK		PRAVÝ KOTNÍK		LEVÉ KOLENO		PRAVÉ KOLENO		LEVÁ KYČEL		PRAVÁ KYČEL	
		[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]	[Nm/kg]
1	1	2016,0	1678,8	1912,6	1796,2	3347,9	1478,8	2120,8	553,3	9271,7	2241,2	4657,4	1404,9
1	2	1713,6	1587,9	2507,9	1788,3	3071,9	787,5	2438,1	706,4	8148,2	1534,6	5134,0	1342,5
1	3	1820,0	1041,3	2146,0	1558,3	3862,3	1021,1	2443,3	328,0	6296,8	1186,9	5263,8	905,4
1	4	1938,2	1427,6	2233,2	1247,6	3106,4	553,2	2698,0	1344,3	5046,1	1560,5	7176,5	1467,1
1	5	1900,6	1276,4	2195,9	1131,3	2729,6	300,3	2816,1	1276,8	6298,6	1105,0	4445,3	1104,0
	PRŮMĚR	1877,7	1402,4	2199,1	1504,3	3223,6	828,2	2503,3	841,8	7012,3	1525,6	5335,4	1244,8
2	1	2199,3	2237,8	2279,3	2245,6	2369,8	1287,8	2587,6	1779,1	7440,4	3244,3	7352,5	3253,1
2	2	1975,5	2089,3	2274,0	1946,3	3095,0	1602,9	2368,4	384,7	6208,9	2383,6	5442,3	1800,4
2	3	2023,7	1851,6	2019,0	1656,0	2860,9	1216,1	2726,6	1565,7	7106,7	2023,1	4172,5	2433,0
2	4	2129,1	2015,7	2112,1	1072,1	2745,9	1657,9	2373,2	143,8	7808,1	1782,4	6327,0	212,2
	PRŮMĚR	2019,0	1895,3	2192,9	1838,1	2887,3	1233,7	2546,5	1142,8	6942,1	2294,2	5575,7	2182,8
3	1	1883,4	1175,3	1921,8	1623,8	1521,8	2328,5	2096,5	1136,3	7075,8	1195,7	5910,1	1352,9
3	2	2003,5	1372,6	2132,3	1588,5	1934,2	724,6	1937,7	781,9	7196,9	1505,4	6495,0	1386,9
3	3	1656,8	1325,7	1785,5	1198,2	1919,4	1071,5	1796,8	1593,8	4432,2	1470,6	5935,4	1807,1
3	4	1813,9	1308,7	1815,7	1576,3	1958,9	769,8	2605,2	662,8	5919,5	687,4	5518,9	1315,2
3	5	1957,0	1353,8	1713,2	1390,1	1954,5	758,9	2358,1	833,1	3904,3	1295,9	5849,4	1143,7
	PRŮMĚR	1862,9	1307,2	1873,7	1475,4	1857,8	1130,7	2158,9	1001,6	5705,7	1231,0	5941,8	1401,2
4	1	2270,5	1085,1	2198,4	1132,7	1453,9	160,5	2119,7	1115,6	2815,4	1246,5	3830,9	1663,6
4	2	3098,9	1797,8	2168,5	1226,6	1626,8	387,5	2930,3	573,4	6930,9	3652,5	5494,4	1230,4
4	3	2035,8	1047,3	2053,4	850,5	1451,8	397,3	2718,1	458,8	2882,7	3190,6	3710,1	1129,3
4	4	2193,4	937,1	2284,6	759,0	1678,0	184,4	2013,5	587,7	2672,8	660,2	3227,0	1253,5
4	5	1900,6	935,7	2128,9	987,6	1822,9	702,3	2132,7	689,7	2113,7	1537,8	3638,9	1294,7
	PRŮMĚR	2299,8	1160,6	2166,8	991,3	1606,7	366,4	2382,9	685,0	3483,1	2057,5	3980,3	1314,3

Obr. B.6: Hodnoty lokálních maxim momentů sil cviku: Výskok z jedné nohy z vyvýšeného místa